Lielegg

Die Spectralanalyse

Die Spektralanalyse.

Die Spektralanalyse.

Erklärung

der Spektralerscheinungen und deren Anwendung für wissenschaftliche und praktische Zwecke,

mit Berücksichtigung

der zu ihrem Verständnisse wichtigen physikalischen Lehren in leicht faßlicher Weise dargestellt

von

Andreas Lielegg,
ord. öff. Lehrer der Chemie an der Landes-Oberrealschule in St. Pölten.

Mit 9 in den Text eingedruckten Figuren und einer lithographirten Tafel.

Weimar, 1867.
Bernhard Friedrich Voigt.

Vorrede.

Die epochemachende Entdeckung der chemischen Analyse durch Spektralbeobachtungen von Kirchhoff und Bunsen hat nicht nur in allen wissenschaftlichen Kreisen das höchste Interesse wachgerufen, sondern auch bei Vielen, welche durch ihren Beruf mit der Wissenschaft nicht in unmittelbarer Berührung stehen, Beachtung gefunden. Aus diesem Grunde schien es zeitgemäß, die Spektralanalyse und die zu ihrem Verständnisse unumgänglich nothwendigen physikalischen Lehren in gedrängter Kürze darzustellen, und hierdurch einen Beitrag zu jenem Zweige der Literatur zu liefern, dessen Aufgabe es ist, die Ergebnisse wissenschaftlicher Forschungen in weiteren Kreisen bekannt zu machen und deren Anwendung zu praktischen Zwecken anzubahnen. Von dieser Absicht ausgehend mußte eine rein wissenschaftliche Behandlung des Gegenstandes vermieden, und eine solche angestrebt werden, welche das Verständniß desselben ermöglicht, ohne umfassendere Vorkenntnisse vorauszusetzen; inwieferne dies gelungen ist, mögen Sachkundige entscheiden, aber wer das Schwierige einer solchen Arbeit kennt, und berücksichtigt, daß diese Schrift nicht allein zur Belehrung für weitere Kreise, sondern auch als Hülfsbuch bei spektralanalytischen Arbeiten dienen, und zu derlei Versuchen anleiten soll, der wird auch für die Beurtheilung den richtigen Maßstab finden.

Um das Verständniß möglichst zu erleichtern, wurden anfänglich alle auf die Spektralanalyse Bezug nehmenden physikalischen Lehren, soweit dieselben ohne mathematische Begründung behandelt werden konnten, in leicht faßlicher Weise durchgenommen und die hierauf bezüglichen Versuche beschrieben und erklärt. Der in der Wissenschaft Vorgeschrittene wird diesen ersten Theil entbehren können; da das Buch jedoch für einen größeren Leserkreis berechnet ist, so dürften Manche gerade darin eine willkommene Vorbereitung erblicken, und diese Beigabe als zweckdienlich betrachten. Sodann folgt die eigentliche Spektralanalyse, welcher eine kurze Beschreibung von Spektral-

apparaten verschiedener Konstruktion vorausgeschickt wurde; bei Abfassung dieses Theiles bot die reichhaltige Literatur ein so großes Materiale, daß, sollte das angestrebte Ziel nicht überschritten werden, die Benutzung derselben nur eine beschränkte sein konnte; eine vollständige Aufzählung der benutzten Literatur wurde unterlassen, dagegen wurden alle besonders wichtigen Abhandlungen im Texte angeführt und hierdurch Allen, die sich eingehender über den einen oder den anderen Gegenstand zu unterrichten wünschen, die Gelegenheit gegeben, die Originalquellen kennen zu lernen.

Der Besprechung der Bedingungen, von welchen die Darstellung der Spektra abhängig ist, wurde besondere Aufmerksamkeit gewidmet, sie wird jedem, der Spektralbeobachtungen machen will, die Ausführung derselben wesentlich erleichtern. Zum besseren Verständniß der Beschreibung der Spektra, die beim Gebrauche eines Apparates mit einem Prisma und der Bunsen'schen Gaslampe erhalten werden können, dient die beigegebene Spektraltafel, welche auch die Spektra der zwei letztentdeckten Metalle Thallium und Indium enthält; sie wurde von Seite des Herrn Verlegers auf das sorgfältigste ausgeführt, und dürfte bei aller Einfachheit ihrem Zwecke doch vollkommen entsprechen.

Der letzte Theil ist der Anwendung der Spektralanalyse zur Lösung wissenschaftlicher und praktischer Fragen gewidmet, und wenn auch nicht Alles, was in dieser Richtung bisher bekannt wurde, aufgenommen werden konnte, so wird doch die getroffene Auswahl befriedigen, und dem geehrten Leser die Ueberzeugung verschaffen, daß die Spektralanalyse eine vielfach anwendbare Untersuchungsmethode, und für den Mineralogen, wie für den Chemiker und Färber gleich wichtig ist, und daß von derselben noch weitere praktische Anwendungen in der Zukunft gemacht werden dürften. Aber nicht allein des praktischen Nutzens, sondern nicht minder des hohen Interesses wegen, welches dieses so einfache Verfahren jedem einzuflößen vermag, der warmen Antheil an der geistigen Bewegung seiner Zeit und insbesondere an den Fortschritten der Naturwissenschaften nimmt, verdient die Spektralanalyse in den weitesten Kreisen bekannt zu werden; denn der Werth einer Entdeckung liegt nicht allein in dem Vortheil, welcher durch die Anwendung derselben errungen wird, sondern vielmehr in dem geistigen Gewinn, der uns aus der Erweiterung unserer Kenntnisse über Naturerscheinungen erwächst.

Der Verfasser.

Inhalt.

Einleitung.

Einer der wichtigsten Faktoren zum physischen Leben ist das Licht; es gestattet uns, die überwiegende Mehrzahl von Naturerscheinungen wahrzunehmen und jedes Zeitmaß vernichtend mit der größten Schnelligkeit in die weitesten Entfernungen zu dringen. Es ist aber auch eine unerläßliche Bedingung für das Bestehen und Gedeihen von Menschen, Thieren und Pflanzen, da ohne Licht kein Leben möglich ist.

Alle materiellen Dinge werden durch die Sinne wahrgenommen, und wiewohl dieser Vorgang ein ganz allgemeiner ist, so besteht doch in der relativen Wichtigkeit der einzelnen Sinne ein großer Unterschied. So können wir durch den Tast- und Geschmacksinn nur dann eine Wahrnehmung über Körper machen, wenn wir mit denselben in unmittelbarer Berührung uns befinden, durch den Geruchssinn nur dann, wenn die Entfernung des Körpers eine verhältnißmäßig geringe ist. Der Gehörssinn reicht schon in weitere Entfernungen, aber im Vergleiche zu jenen, in welche das Auge zu dringen vermag, sind sie verschwindend klein. Wir finden ferner, daß die meisten Eigenschaften der Körper, sowie die Mehrzahl ihrer physikalischen und chemischen Veränderungen durch das Auge erkannt werden; das Auge ist aber nur der Sammelplatz für alle von den verschiedenen uns umgebenden Körpern ausgehenden und nach allen Richtungen hin gleichmäßig sich fortpflanzenden Lichtstrahlen, das wesentlichste bleibt immer das Licht selbst, ohne welches der Apparat, den wir Auge nennen, für uns keinen Werth hätte; wir haben an dem Lichte einen Vermittler, ohne den wir von der Körperwelt keine Vorstellung bekommen, und den größten Theil der wunderbar herrlichen Schöpfung gar nicht ahnen könnten.

Hieraus folgert sich, daß die sinnliche Wahrnehmung die einzige Quelle unserer Naturerkenntniß ist, und daß das Licht hierbei eine hervorragende Rolle spielt. Aber abgesehen davon, daß das Licht uns zur Erkenntniß der Dinge führt, es wirkt auch noch überdies ganz eigenthümlich auf die Körper ein, ruft zahllose Veränderungen hervor, und ist hierdurch im Haushalte der Natur von außerordentlichem Einflusse. Mit Berücksichtigung dessen kann man daher von einer relativen Wichtigkeit der Sinne sprechen, und den Gesichtssinn, weil er für die sinnliche Wahrnehmung das meiste leistet, auch als den wichtigsten bezeichnen.

Die ganze Pflanzenwelt, mit Ausnahme der am niedrigsten organisirten Pflanzen, kann nur unter dem Einflusse des Lichtes gedeihen und im grünen Frühlingskleide erscheinen, wir wissen, daß Pflanzen, dem Lichte entzogen, zuerst erbleichen, weil sie den grünen Farbestoff das Chlorophyll nicht zu erzeugen vermögen und endlich ganz absterben; im Schatten stehende Pflanzen entwickeln sich nur nach der dem Lichte zugekehrten Seite. Daß Menschen das Roth der Gesundheit einbüßen, wenn sie in dunkeln oder gänzlich verfinsterten Orten längere Zeit wohnen, ist zur Genüge bekannt.

Noch wichtiger und mannigfaltiger ist die Wirksamkeit des Lichtes auf die materielle Natur der Körper. Allbekannt ist die Methode des Bleichens von Wachs, Gespinnsten, gewebten Stoffen u. s. f. durch Mitwirkung des Sonnenlichtes; es ist dies nichts anderes als ein chemisches Verändern, ein Zerstören von Farbestoffen, was in der Gegenwart viel häufiger und schneller durch ein chemisches Mittel, durch das Chlor, als durch das Sonnenlicht bewirkt wird. Eine große Anzahl von chemischen Stoffen zersetzt sich durch die Einwirkung des Sonnenlichtes; die reine, farblose, konzentrirte Salpetersäure entwickelt rothe Dämpfe; sättigt man Wasser mit Chlorgas und setzt die Flüssigkeit der Einwirkung des Sonnenlichtes aus, so wird das Wasser zersetzt, Chlorwasserstoff gebildet und Sauerstoff ausgeschieden. Gold, Silber und Quecksilbersalze im festen Zustande oder in wässeriger Lösung werden unter Ausscheidung der genannten Metalle zersetzt. Setzt man weißes Chlorsilber dem Lichte aus, so wird es geschwärzt und man kann deutlich das Entweichen von Chlor beobachten. Auf der Eigenschaft des Lichtes, Silbersalze zu zersetzen, beruht das Wesen der heutigen Photographie, nachdem Daguerre im Jahre 1839 diese wissenschaftliche Thatsache zur praktischen Geltung zu bringen wußte. Doch auch chemische Verbindungen kann das Licht veranlassen; so verbinden sich Wasserstoff und Chlor zu gleichen Volumtheilen in einem Gefäße gemischt unter Explosion zu Salzsäure, ebenso verbinden sich gleiche Volumtheile von Kohlenstoffoxydgas und Chlor im Sonnenlichte zu Phosgen.

Zahlreich sind die Erscheinungen, welche das Licht bei seinem Durchgang durch verschiedene Körper und bei seiner Zurückwerfung von spiegelnden Flächen zeigt. Noch häufiger sind die Fälle, daß sich die Wirkung des Lichtes mit der der Wärme oder mit der eines oder mehrerer anderer Agentien verbindet, und sich hierdurch in demselben Grade die Lösung der Fragen erschwert, als die Zahl der Bedingungen für eine Erscheinung größer wird. Und doch ist es dem unermüdlichen und nimmer rastenden Forschungsgeiste der Menschen gelungen, die meisten dieser Erscheinungen nicht blos mit dem sinnlichen, sondern auch mit dem geistigen Auge zu erfassen und einzudringen in den einfachen und natürlichen aber dem Laien geheimnißvoll und unenträthselbar dünkenden Zusammenhang zwischen den Kräften der Natur und der sich oft so wunderbar gestaltenden Materie.

Viel Geist und viel Scharfsinn mußte aufgeboten werden, und die ganze Thatkraft geistig starker Männer war erforderlich, um aus den durch Jahrtausende gesammelten einzelnen Beobachtungen endlich eine Ansicht über das Wesen des Lichtes zu gewinnen; denn über die eigentliche Natur desselben waren wir bis zu Anfang des vorigen Jahrhunderts ganz im Unklaren. Das Licht, selbst kein faßbarer Stoff, ermöglicht uns nur andere Körper zu sehen, und da wir es nicht als einen materiellen Körper erkennen konnten, — kamen wir durch das sorgfältigste Studium der durch das

selbe hervorgebrachten Erscheinungen zu dem entschiedenen Resultate: das Licht ist weder ein wägbarer noch ein unwägbarer Stoff, es ist nur eine Folge der schwingenden Bewegung, in dem sich die kleinsten Theilchen der Körper befinden.

Schon in den ältesten Zeiten scheint man sich mit Studien über das Licht befaßt zu haben, aber wie es sich gezeigt hat, so ziemlich ohne Erfolg; denn selbst zu jener Zeit, die man die klassische nennt, und in welcher Künste und Wissenschaften blühten, war man über die Natur des Lichtes noch ganz im Dunkeln. Man wollte dasjenige, was sich nur auf dem Wege des Experimentirens beobachten und beweisen läßt, durch philosophische Spekulationen ergründen, ein Vorgang der nie zum Ziele führen konnte; überdies waren die mechanischen Wissenschaften noch so wenig ausgebildet, und so wenige Beobachtungsmittel bekannt, daß selbst die Möglichkeit, erfolgreiche Untersuchungen anzustellen, äußerst beschränkt war. Es darf uns daher nicht wundern, wenn von Männern, die man noch heute mit der größten Bewunderung nennt, die Meinung ausgesprochen wurde, das Licht gehe vom Auge aus und dieses sei eine Art Laterne, von welcher sich feine Strahlen nach allen Richtungen verbreiten, die sodann mit den Körpern in Berührung kommen und so den Eindruck des Sehens hervorbringen. Vom Sehen hatte man also eine Vorstellung, die dasselbe dem Tasten analog erscheinen ließ, und ein Hauptargument für dieselbe glaubte man darin gefunden zu haben, daß es Menschen und Thiere gäbe, die auch im Finstern sehen können. Der erste, der dieser Anschauung nicht beipflichtete, soll Aristoteles gewesen sein, der die feurige Natur des Auges, da er seinen Bau kannte, in Abrede stellte, der erklärte, das Auge sei wässeriger Natur und durchsichtig und auch das Sehen werde durch die durchsichtigen Mittel, die sich zwischen dem Auge und dem gesehenen Gegenstand befinden, vermittelt.

Im Mittelalter finden wir einen Forscher, dessen Lebensverhältnisse und trauriges Ende jedes menschliche Herz ebenso zur Wehmuth stimmen, als dessen große Begeisterung für die Wissenschaft und dessen unsterbliche Leistungen in derselben den Stempel der Erhabenheit tragen. Es war Kepler, der die Bewegungsgesetze der Gestirne lehrte und statt Ansehen und Ehre bei den Großen jener Zeit zu finden, sein Leben im harten Kampfe mit Entbehrungen dem Dienste der wissenschaftlichen Forschung weihte. Er erkannte, daß das Licht nichts körperliches sei; seine Arbeiten beziehen sich jedoch nicht auf das Wesen des Lichtes, sondern auf die durch dasselbe hervorgebrachten Erscheinungen, deren quantitative Bestimmung und mathematische Berechnung er lehrte. Andere eifrige Jünger der Wissenschaft folgten nun, setzten die einmal begonnenen Forschungen fort, und aus den zahlreichen Beobachtungen und dem Austausch der Meinungen und Ansichten begann sich eine wissenschaftliche Anschauung, eine Theorie über das Wesen des Lichtes zu entwickeln. Man glaubt allgemein, daß die erste wissenschaftliche Ansicht über die Natur des Lichtes von einem Engländer, Namens Newton ausgesprochen wurde. Dieser ausgezeichnete Gelehrte dessen irdische Reste neben denen vieler anderer berühmter Männer in der Westminster-Abtei zu London ruhen, fand schon bei Lebzeiten die verdiente Anerkennung, und wie sehr seine Zeitgenossen ihn und seine großartigen Leistungen auf dem Gebiete der Naturwissenschaft ehrten, davon geben die

Worte, welche den Schluß seiner Grabschrift bilden, das deutlichste Zeugniß, sie lauten: Sibi gratulentur mortales tale tantumque extitisse humani generis decus.

Newton nahm zur Erklärung der Lichterscheinungen einen unendlich feinen und unwägbaren Lichtstoff an, welcher von allen leuchtenden Körpern in gerader Richtung und mit außerordentlicher Schnelligkeit ausgesendet wird und durch die Berührung der Sehwerkzeuge die Wahrnehmung des Lichtes gerade so bewirkt, wie die das Ohr treffende Luftwelle in uns die Empfindung des Schalles hervorbringt. Diese Ansicht, welche in einer für den Zustand der Wissenschaft in der damaligen Zeit sehr scharfsinnigen Weise begründet war, gewann viele Anhänger und erhielt den Namen der Emanations- oder Emissionstheorie.

Die nächste Folge des Bekanntwerdens dieser Theorie war, daß sich nunmehr viele Physiker mit der Erklärung optischer Erscheinungen und mit Studien über die Natur des Lichtes beschäftigten. Und so geschah es, daß die Emanationstheorie bald an der zuerst von Huyghens aufgestellten und von Euler u. A. weiter ausgeführten Undulations- oder Vibrationstheorie einen mächtigen Rivalen bekam. Auch diese Theorie konnte die Annahme eines höchst feinen, elastischen und unwägbaren Mediums, welches die Fortpflanzung des Lichtes besorgt, nicht entbehren, nur wurde dieser unentbehrliche und unmaterielle Stoff Lichtäther genannt. Man nimmt von demselben an, daß er nicht allein den sonst leeren Weltraum, sondern auch die Zwischenräume zwischen den kleinsten Theilchen der festen, flüssigen und luftartigen Körper ausfüllt und die Bewegung, in welcher sich ein kleinstes Theilchen befindet, auf das nächstliegende überträgt. Er ist somit wie der Lichtstoff Newtons nur als Mittel zur Erklärung der Erscheinungen in den Kreis der wissenschaftlichen Betrachtungen einbezogen, er ist, um es kurz zu sagen, die nothwendige Voraussetzung, deren die Undulationstheorie bedarf, er ist das Objekt einer Hypothese; für sein wirkliches Vorhandensein haben wir jedoch eigentlich gar keinen Beweis, wir wissen nur, daß, wenn wir seine Existenz annehmen, eine Erklärung der verschiedenen Lichterscheinungen möglich ist.

Die Meinungen, welche längere Zeit zwischen beiden Theorien getheilt blieben, neigten sich endlich nach dem Bekanntwerden der von Young und Fresnel ausgeführten, die Fortpflanzung des Lichtes betreffenden Versuche, mit solcher Entschiedenheit der letzteren zu, daß es heute kaum Physiker geben dürfte, die sich in dieser Sache noch nicht entschieden hätten. Der Hauptunterschied beider Theorien liegt darin, daß die Fortpflanzung des Lichtes bei der Vibrationstheorie durch Transversalschwingungen, das sind außerordentlich rasche Oscillationen des hypothetischen Lichtäthers, geschieht, und daß die Moleküle der leuchtenden Körper ebenfalls in solchen Schwingungsbewegungen sich befinden, während bei der zuerst erwähnten Emissionstheorie der Lichtstoff sich geradlinig fortpflanzt und von den Körpern, auf welche er trifft, aufgenommen wird.

Vom Lichte kann man also im Sinne der Vibrationstheorie nur sprechen, in soferne Körper vorhanden sind, deren kleinste Theilchen sich in schwingender Bewegung befinden. Bei dieser Auffassung ist es auch erklärlich, daß das Licht der Sonne und das der Fixsterne im Laufe der Zeiten nicht abnimmt, da diese Himmelskörper ja dadurch, daß sie Licht erregen, nichts von ihrem Stoffe, aus welchem sie bestehen, einbüßen; die Bewegung

der kleinsten Theilchen des Sonnenkörpers durch den Lichtäther bis auf die Erde fortgepflanzt, bringt an den verschiedenen Körpern dieselben Oscillationen hervor. Würden die leuchtenden Körper einen Lichtstoff aussenden, so würde die Leuchtkraft derselben mit der Zeit abnehmen, daher müßte auch die Sonne fortwährend Lichtstoff verlieren und irgendwo anders müßte sich dieser Lichtstoff anhäufen, was aber noch nie beobachtet wurde. Einen weiteren Widerspruch jedoch fände die Emissionstheorie jedenfalls in der Unmöglichkeit, chemische Vorgänge durch Einwirkung des direkten Lichtes meist des Sonnenlichtes hervorgerufen, zu erklären; denn würde man annehmen, daß der Lichtstoff auch in die Verbindung tritt, so wäre eines der Fundamentalgesetze der Chemie, das Gesetz der Erhaltung der Masse verletzt und zwar dadurch, daß ein Stoff in die Verbindung käme, der mit der Wage nicht nachweisbar wäre. Auf desto leichtere und einfachere Weise lassen sich aber nach der Undulationstheorie alle jene Fälle erklären, bei welchen die chemische Verbindung durch Einwirkung des direkten Sonnenlichtes bewirkt wird. Ein Beispiel wird dies lehren.

Füllt man eine Glasflasche zur Hälfte mit Wasserstoffgas und zur anderen Hälfte mit Chlorgas in einem finstern Zimmer, stellt die Flasche so, daß die Mündung nach abwärts gekehrt durch Wasser abgesperrt ist, und läßt dieses Gasgemenge im Finstern stehen, so wird man auch nach längerer Zeit keine Veränderung bemerken. Giebt man die Flasche in ein Zimmer, welches soviel Licht hätte, daß man lesen könnte, in welches aber kein direktes Sonnenlicht dringt, so wird man bemerken, daß sich bald weiße Nebel, das sind Salzsäuredämpfe, bilden, welche von dem die Flasche absperrenden Wasser aufgesogen werden, so daß nach einiger Zeit Wasser durch den Hals der Flasche in dieselbe eintritt und das Gasgemenge an Volumen abnimmt, weil sich ein Theil der Gase bereits verbunden hat und der neugebildete Körper nämlich die Salzsäure vom Wasser verschluckt wurde. Stellt man jedoch die Flasche in das Sonnenlicht, so wird die chemische Verbindung der beiden Gase so rasch erfolgen, und eine solche Wärme entwickelt werden, daß eine Explosion stattfindet, bei welcher die Flasche zerrissen wird. Um ohne Schaden zu nehmen diesen höchst lehrreichen Versuch anstellen zu können, genügt es, die Flasche mit einer undurchsichtigen Hülse von Pappe zu bedecken, an die Sonne zu stellen und mit einer an die Hülse befestigten Schnur dieselbe rasch in die Höhe zu ziehen; der Beobachter und Experimentator kann sich durch eine Breterwand schützen und durch eine kleine Oeffnung sehend, den angegebenen raschen Verlauf des Experimentes beobachten. Um nun zur Erklärung zu kommen, wie die chemische Vereinigung beider Gase im Finstern gar nicht, im zerstreuten Tageslichte langsam und im direkten Sonnenlichte unter Explosion stattfindet, muß noch erwähnt werden, daß auch die Gase, wie alle anderen Körper, aus kleinsten Theilchen, die wir Moleküle nennen, bestehen, nur sind die Gasmoleküle durch größere Zwischenräume von einander getrennt, als dies bei festen oder flüssigen Körpern der Fall ist. Es kann nun eine chemische Verbindung nur erfolgen, wenn sich zwei Stoffe berühren oder wenigstens einander so nahe kommen, daß die chemische Anziehung wirksam wird. Stehen die in der Flasche gemischten Gase im Finstern, so sind die Gasmoleküle von einander soweit entfernt, daß sie nicht gegenseitig einwirken können, tritt jedoch Licht hinzu, so werden, wie die Undulationstheorie lehrt, die Gasmoleküle und der die Zwischenräume ausfüllende Lichtäther in Schwingungen

kommen; dadurch aber wird es geschehen, daß sich die zweierlei Gasmoleküle auf Distanzen nähern, die so gering sind, daß die chemische Anziehung wirken und die Verbindung erfolgen kann. Es ist nun sehr leicht einzusehen, daß zerstreutes Tageslicht nicht so viel Schwingungen veranlassen wird als direktes Sonnenlicht, daher geht die chemische Verbindung im ersteren Falle nur allmälig, im letzteren Falle außerordentlich rasch vor sich.

Sehr interessant sind die Ergebnisse von Untersuchungen, welche Professor Schrötter in Wien über die Natur des beim Verbrennen des Magnesiums erzeugten Lichtes in neuester Zeit angestellt hat. Sie haben gezeigt, daß das Magnesiumlicht neben anderen auch chemische Wirkungen hervorzubringen im Stande sei, und daß man namentlich die Verbindung von Wasserstoff und Chlor ebenso durch Anwendung des Magnesiumlichtes bewirken könne, als durch Sonnenlicht; die Verbindung erfolgt durch jenes nach wenigen Sekunden unter Explosion. Man ist demnach im Stande dieses lehrreiche Experiment unabhängig von Tageszeit und Lokalverhältnissen ausführen zu können.

Quellen des Lichtes.

Nachdem wir im Vorhergehenden Einiges über das Licht und über die Erscheinungen, welche dasselbe hervorzubringen im Stande ist, gesprochen haben, drängt sich die Frage auf, wie entsteht Licht und welche Bedingungen müssen wir herbeiführen um Licht zu erhalten.

Betrachtet man die Naturerscheinungen, wie sie im täglichen Leben sich vor unseren Augen entrollen, so findet man, daß die Ursachen sehr verschiedene sein können, welche Lichtentwickelungen zur Folge haben und in soferne kann man auch von verschiedenen Quellen des Lichtes sprechen. Im Folgenden soll nun von den wichtigsten Lichterregern: Elektricität, Wärme, Verbrennung und Phosphorescenz eingehender die Rede sein.

Jedermann kennt die wahrhaft großartige elektrische Entladung, die man Blitz nennt, die, wenn auch nur auf sehr kurze Zeit die grellste Beleuchtung bewirken kann; im Kleinen sehen wir beim Ueberspringen der Funken aus dem Konduktor einer Elektrisirmaschine oder bei der Entladung einer Leidner Flasche denselben Vorgang. In neuerer Zeit, wo das Streben, die Naturkräfte sich dienstbar zu machen, ein allgemeines geworden, wurde auch die Elektricität als Lichterreger benutzt. Ist die Leitung eines elektrischen Stromes unterbrochen und derselbe genöthigt von einem Punkte durch die Luft zu einem zweiten gewöhnlich von Spitze zu Spitze überzuspringen, so entsteht ein Funke, dessen Länge und Lichtstärke von der Größe der Unterbrechung und von der Stärke des elektrischen Stromes abhängt. Da dieser Funke überdies noch eine sehr hohe Temperatur hat, also Wärme entwickelt, so ist leicht einzusehen, daß die materielle Beschaffenheit der Spitzen nicht gleichgültig sein kann, da ja dieselben durch die hohe Temperatur leicht eine Veränderung erleiden können.

Hat man den Zweck der Beleuchtung vor Augen, so müssen die Spitzen aus einem Stoffe verfertigt werden, welcher die Elektricität gut, die Wärme aber möglichst wenig leitet, durch die hohe Temperatur keine Schmelzung erleidet und entweder gar nicht oxydirbar ist oder dessen Oxydationsprodukte gasförmig sind. Unter Oxydation versteht man die Verbindung mit Sauerstoff, einem luftförmigen Körper, der den einen Bestandtheil der Atmosphäre bildet, der andere heißt Stickstoff. Von allen Körpern eignet sich hierzu wohl keiner so gut als der Kohlenstoff und zwar jener Kohlenstoff,

welcher sich an die Innenwände der Retorten der Gasanstalten bei der Destillation der Steinkohlen behufs der Leuchtgasgewinnung ansetzt; derselbe ist sehr hart, unschmelzbar, ein schlechter Wärmeleiter und giebt beim Verbrennen, welches natürlich eintreten muß, einen luftförmigen Körper, nämlich die Kohlensäure als Verbrennungsprodukt. Dieser Kohlenstoff führt den Namen Gaskohle. Springt der Funke zwischen zwei Spitzen aus diesem Stoffe über, so werden dieselben, eine ganz besonders, durch die hohe Temperatur, die hierbei entsteht, in eine so lebhafte Weißglühhitze versetzt, daß sie einen großen Raum taghell zu beleuchten im Stande sind. Dadurch aber, daß die Spitzen nach und nach verbrennen, wird die Distanz zwischen denselben immermehr vergrößert, bis endlich kein Funke mehr überspringen kann; soll jedoch die Lichtentwickelung eine kontinuirliche sein, so muß eine Vorkehrung getroffen werden, welche die Spitzen in demselben Grade einander nähert, als sie sich durch die Verbrennung von einander entfernen. Man kennt diese Art der Beleuchtung unter dem Namen des elektrischen Lichtes und hat davon bei großen Bauten, die bei Nacht fortgesetzt werden mußten, bei großartigen Illuminationen, bei Schauvorstellungen in Theatern, und auf Leuchtthürmen vielfache Anwendung gemacht.

Eine andere Quelle für das Licht ist die Wärme. Durch bloße Anwendung von Wärme können Körper leuchtend werden; wir unterscheiden eine dunkle oder eine helle Rothgluth und eine Weißgluth, je nachdem uns der glühende Körper roth oder weiß erscheint. Da die Farbe von dem Hitzegrade abhängt, so ist es auch natürlich, daß ein glühender Körper je nach jenem alle Farben-Nüancen von Roth durch Gelb in das Weiße zeigen kann.

Aber die häufigste Art, um Licht hervorzubringen, beruht auf jenem chemischen Prozesse, welchen man die Verbrennung nennt und welcher in der Praxis ebenso oft zur Entwickelung von Wärme als zur Entwickelung von Licht benutzt wird. Dieser Prozeß beruht einfach auf der Fähigkeit vieler Körper, sich mit einem Bestandtheile der Luft, d. i. mit dem Sauerstoff, chemisch verbinden zu können, welcher Vorgang gewöhnlich mit Licht und Wärmeentwickelung verbunden ist. Geht er jedoch so vor sich, daß diese letzteren nicht wahrgenommen werden können, so ist es doch oft möglich, die Folgen des Prozesses, die Verbrennungsprodukte, zu beobachten, wie dies beispielsweise beim Rosten des Eisens, welches die Chemiker als eine sehr langsame Verbrennung erklären, der Fall ist. Die Verbrennung selbst erfolgt entweder mit oder ohne Flamme; wir wollen nun sehen, von welchen Bedingungen das eine und das andere abhängt. Verbrennt eine einzelne Kohle, so kann dieselbe mehr oder weniger lebhaft verbrennen, aber nie wird eine Flamme wahrnehmbar sein. Sind jedoch Kohlen in größerer Menge beisammen, wie z. B. auf einem Schmiedeherde, und befinden sich nicht alle im Glühen, so kann in Folge eines sekundären Prozesses eine Flamme auftreten. Verbrennt die Kohle vollständig, so wird, wie schon angegeben, Kohlensäure gebildet, kommt diese aber mit erhitzten Kohlen wieder in Berührung, so wird sie reduzirt, d. i. der Hälfte ihres Sauerstoffes beraubt, und Kohlenstoffoxydgas gebildet, welches mit blauer Farbe brennt, d. h. sich wieder mit dem Sauerstoff der Luft zu Kohlensäure verbindet; dies ist der Grund, warum man über einem frisch ange-

fachten Kohlenfeuer eine blaue Flamme spielen sieht, während ein abgebranntes nur glühende Kohlen und keine Flamme zeigt. Verbrennt man jedoch Oel, Spiritus oder Holz u. s. w., so wird stets eine Flamme wahrnehmbar sein, welche entweder durch die verbrennenden Dämpfe der genannten Flüssigkeiten oder durch die durch die Hitze der Flamme gebildeten dampfförmigen und brennbaren Zersetzungsprodukte, wie dies beim Holze geschieht, gebildet wird; also brennende Gase bilden eine Flamme. Enthalten diese brennenden Gase sehr fein vertheilte feste Körper, die entweder absichtlich hineingebracht werden oder durch die weitere Zersetzung der Verbrennungsgase in der Flamme ausgeschieden werden können, so wird die Flamme gefärbt erscheinen, und zwar je nach der materiellen Natur der in derselben glühenden festen Körper auch verschieden. So färben Kupferstaub, Borsäure und Barytverbindungen die Flamme grün, Lithionverbindungen karmoisinroth, Strontiansalze purpurroth, Kalkverbindungen röthlichgelb, Kochsalz und überhaupt alle Natriumverbindungen wachsgelb, Kalisalze violett und der Kohlenstoff lichtgelb oder weiß. Sind keine festen Körpertheilchen in einer Flamme enthalten, so leuchtet sie auch nicht, sondern brennt mit blauer Farbe. Sind zu viele solcher festen Körperchen darin enthalten, so verbreitet die Flamme einen Rauch, wie man es an einer unzweckmäßig konstruirten Oel- oder Petroleumlampe oder am brennenden Terpentin oder an brennenden Kerzen zu beobachten die Gelegenheit hat.

Lange Zeit hielt man nur den Sauerstoff für fähig die Verbrennung anderer Körper zu bewirken und hierbei Licht und Wärme zu entwickeln; es wurden aber so viele andere chemische Prozesse, bei welchen der Sauerstoff nicht intervenirt, beobachtet, und bei diesen dieselben äußeren Erscheinungen wahrgenommen, daß man dahin geführt wurde, den Begriff Verbrennung auf alle chemischen Vorgänge auszudehnen, welche unter Licht- und Wärmeentwickelung stattfinden. So verbrennt Wasserstoffgas durch Chlor ebensogut als durch Sauerstoff, oder das Metall Natrium ebenfalls durch Chlor mit einem nur mit dem Sonnenlichte zu vergleichenden Lichtglanze, es verbrennt das Metall Kalium im Chlor wie im Cyangas mit prächtig violetter Flamme und Kupfer im Schwefeldampf unter heftigem Erglühen. Hieraus mag man leicht ersehen, daß Licht- und Wärmeentwickelungen nicht lediglich den durch Sauerstoff bewirkten chemischen Verbindungen zukommen, sondern, daß jene auch bei vielen Prozessen auftreten, bei welchen Sauerstoff nicht mitwirkt, so daß wir im Allgemeinen sagen können: bei chemischen Prozessen wird stets Wärme und in vielen Fällen Wärme und Licht entwickelt; und da diese Verbrennungserscheinungen nicht einzelnen bestimmten Stoffen, sondern ganz verschiedenen gleichmäßig zukommen, so kann man unter Verbrennung eben nur allgemein einen chemischen Prozeß verstehen. Daß die Verbrennungen durch Sauerstoff, wegen des Vorkommens dieses Körpers in der Luft, am häufigsten sind, braucht kaum erwähnt zu werden. Auch die Eintheilung der Stoffe in brennbare und die Verbrennung unterhaltende ist überflüssig, da das Vorhandensein je zwei solcher Stoffe unerläßlich ist für das Vorsichgehen eines chemischen Prozesses, doch aber beim Verbrennen einer Kohle an der Luft Niemand entscheiden kann, ob sich der Kohlenstoff mit dem Sauerstoff oder der Sauerstoff mit dem Kohlenstoff verbunden habe. Die Licht- und Wärmeentwickelung kommt überhaupt nicht den Stoffen, sondern den chemischen Prozessen zu; sind diese beendet, so sind auch die äußeren Erscheinungen verschwunden.

Wir haben bei physikalischen Erscheinungen ganz Aehnliches; reibt man zwei Körper an einander, so werden sie warm, sind die Körper hart und rauh, so wird mehr Wärme erzeugt, als wenn sie weich und glatt sind; die materielle Natur der geriebenen Körper, sowie die Stärke der Reibung, wird gewiß Einfluß nehmen auf die Temperatur, welche entsteht, aber die Temperaturerhöhung ist nicht Folge der Körper, sondern durch den mechanischen Vorgang der Reibung entstanden und die Körper lassen nur den Erfolg der Reibung als Wärme wahrnehmen. — Dadurch, daß zwei Stoffe, welche Neigung haben sich zu verbinden, in Berührung gebracht werden, werden durch die chemische Anziehung ihre kleinsten materiellen Theilchen in Schwingungen versetzt, welche wir als Licht wahrnehmen. Die Stärke des Lichtes wird allerdings von der materiellen Natur der Körper, sowie von anderen den Prozeß begünstigenden oder verzögernden Einflüssen abhängen, aber das Licht wird nicht durch die Körper, sondern durch den chemischen Akt, welcher die kleinsten Theilchen zu Schwingungen anregt, hervorgebracht; und daß Körpertheilchen in schwingender Bewegung sein müssen, um in uns den Eindruck des Lichtes hervorzubringen, ist uns bekannt, bei chemischen Vorgängen sind es eben die Theilchen der sich verbindenden Körper.

Anderer Art sind die Lichterscheinungen, welche man Phosphorescenz nennt. Der Name Phosphorescenz scheint wohl von dem eigenthümlichen Lichtschein herzurühren, welchen Phosphor, der an der Luft liegt, verbreitet, wenn man ihn im Dunkeln beobachtet. Die Ursache des Leuchtens des Phosphors ist bekannt, denn durch Versuche wurde bewiesen, daß der Phosphor nur leuchtet, wenn er mit Luft in Berührung ist, schließt man diese vom Phosphor ab, so leuchtet er nicht und selbst dann nicht, wenn man ihn erwärmt. Merkwürdig ist, daß Phosphor in reinem Sauerstoffgas nicht leuchtet, außer man erwärmt ihn oder man verdünnt das Sauerstoffgas auf ein Fünftel. Das Leuchten des Phosphors hat demnach in der langsamen chemischen Verbindung desselben mit dem Sauerstoffe seinen Grund. Ob das nächtliche Leuchten von Thieren, wie das der Johanniskäfer, das des faulenden Holzes und das einiger Pflanzen, wie man es beim gemeinen Diptam beobachtet haben will, ebenfalls von einem solchen chemischen Prozesse herrührt, ist noch nicht entschieden.

Aber gewiß ganz verschiedener Natur sind jene Lichterscheinungen, welche man zwar auch als Phosphorescenzen bezeichnet, bei welchen aber ein chemischer Vorgang nicht stattfindet. Hierher gehört das Leuchten von Mineralien durch Erwärmung oder vorhergegangene Bestrahlung durch das Sonnenlicht, wovon der Flußspath, beziehungsweise der Diamant, als Beispiele angeführt werden können; ebenso interessant sind die Lichterscheinungen beim Krystallisiren; wenn aus einer heißgesättigten Lösung von arseniger Säure in Salzsäure beim Abkühlen Krystalle anschießen, so ist dies, wie die bezüglichen Versuche von Wöhler es lehren, mit Lichterscheinung verbunden.

Schon lange kennt man die Bereitung von Stoffen, welche die Eigenschaft besitzen, im Finstern mehr oder weniger lebhaft und in den verschiedensten Farben kürzere oder längere Zeit zu leuchten, wenn dieselben vorher einer auch nur wenige Sekunden dauernden Bestrahlung durch das Sonnenlicht oder nach den in neuester Zeit von Schrötter angestellten Ver-

suchen durch das Licht des verbrennenden Magnesiums ausgesetzt waren. Diese Stoffe, welche also, wie es den äußeren Anschein hat, Licht einzusaugen und dann im Finstern wieder von sich zu geben im Stande sind, diese Lichtsauger werden künstliche Leuchtsteine genannt. Heinrich, v. Grotthuß, Osann, Bononi, Canton und in neuester Zeit Edmond Bequerel, haben die Methoden angegeben, wie man die verschiedensten Leuchtsteine am zweckmäßigsten bereiten kann. Daß jedoch diese höchst interessante Erscheinung nicht als ein Auffaugen des Lichtes und späteres Vonsichgeben desselben betrachtet werden kann, da dies ja einen Lichtstoff voraussetzen würde, — sondern daß durch die Bestrahlung mit direktem Sonnenlichte die kleinsten Theilchen zu Vibrationen angeregt werden, die uns die Körper im Dunkeln leuchtend erscheinen lassen, ist nach dem bereits Gesagten eine Erklärung, welche der Undulationstheorie vollkommen entspricht und die größte Wahrscheinlichkeit für sich hat; endlich kann diese Erscheinung, wie schon angegeben, auch durch das elektrische Licht oder durch das des verbrennenden Magnesiums hervorgebracht werden, und da bei diesen letztgenannten Lichtquellen die Annahme eines Lichtstoffes ebenso unthunlich ist, so spricht auch dies für die eben gegebene Erklärung.

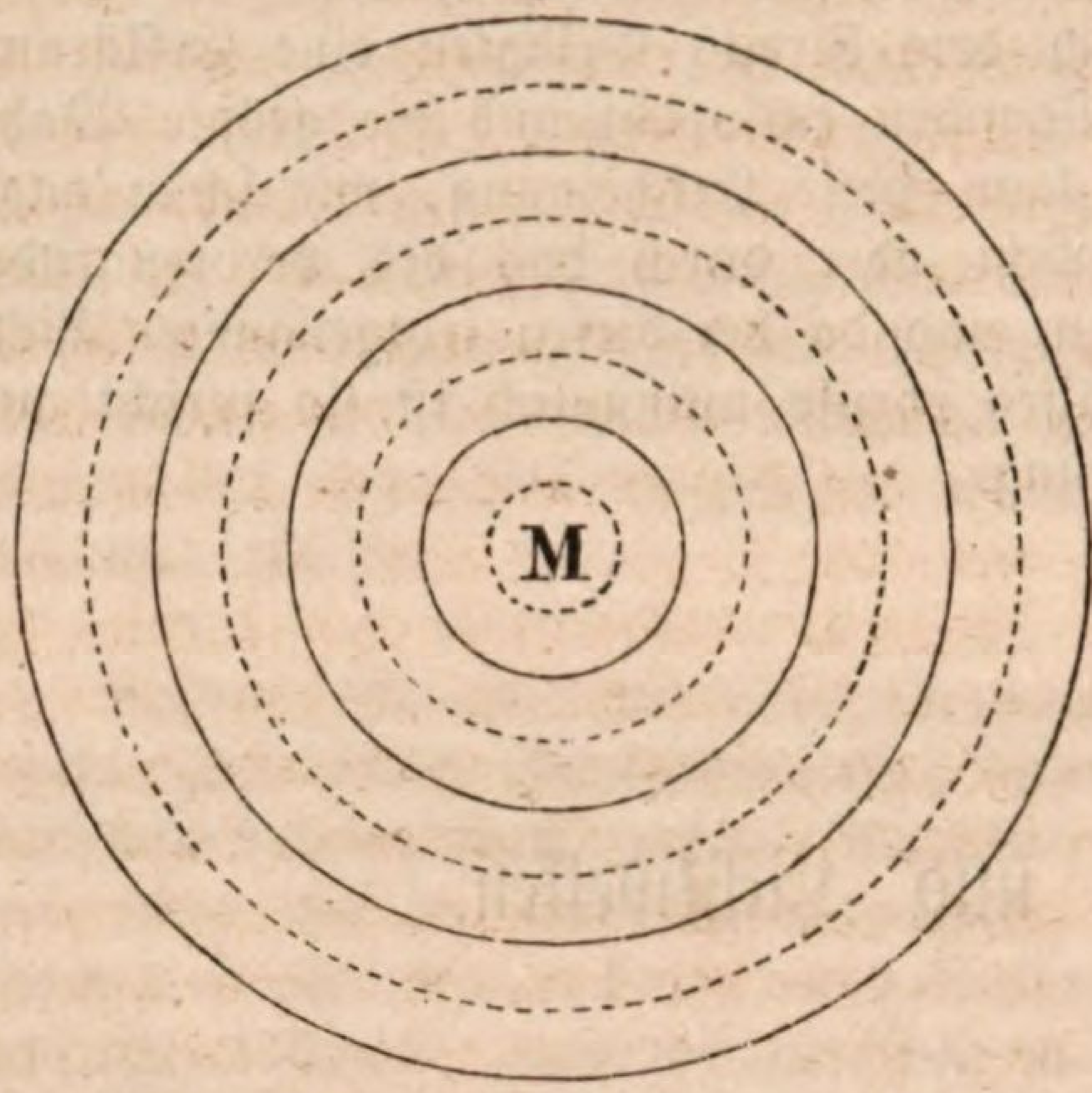
Wasserwellen und Lichtwellen.

Wenn wir auch das Licht rein nur als eine Bewegungserscheinung auffassen, so sind wir doch oft veranlaßt, von demselben so zu sprechen, als ob es etwas Materielles wäre, da wir den durch den Sprachgebrauch eingebürgerten und herkömmlichen Ausdruck Lichtstrahl als etwas Materielles aufzufassen gewohnt sind. Es mag daher hier am Platze sein, Einiges über Lichtstrahlen, sowie über die Art und Weise der Fortpflanzung des Lichtes zu sagen.

Die Fortpflanzung des Lichtes geschieht geradlinig, und wenn es unser Auge trifft, so sagen wir, es sei von einem Lichtstrahl oder besser von einem Strahlenbündel getroffen worden. Sprechen wir von der Sonne, so meinen wir einen Lichtstrahl, welcher von derselben ausgehend und den leeren Weltraum durchziehend auf die Erde gelangt; da wir aber annehmen, daß der leere Weltraum mit dem unendlich feinen Lichtäther erfüllt ist, so findet die Fortpflanzung des Lichtes durch jenen darin ihre Erklärung, daß die das Licht verursachende Bewegung der kleinsten Theilchen der Sonne auf die Lichtäthertheilchen übertragen und durch diese bis auf die Erde und gewiß auch auf die anderen Planeten fortgepflanzt wird. Die Bewegungen, welche die Aethertheilchen machen, sind transversale Schwingungen, das sind solche, welche senkrecht stehen zur Richtung des Strahles, und da unendlich viele solcher Aethertheilchen schwingen, so entstehen wellenförmige Bewegungen, daher man auch von Lichtwellen spricht. Um zum rechten Verständniß einer Lichtwelle zu gelangen, wollen wir früher auf eine allbekannte Erscheinung hinweisen.

Wirft man einen Stein in ein ruhig stehendes Wasser, so bilden sich ringsum den Einfallspunkt des Steines kreisförmige Wellen, welche sich von diesem Punkte weg immermehr erweitern und durch den Widerstand, welchen das Wasser durch seine Masse leistet, allmälig schwächer werden, bis sie sich ganz verlieren. Die Wellen bestehen aus kammförmigen Erhöhungen, den Wellenbergen, und muldenförmigen Vertiefungen, den Wellenthälern; das Wasser verändert seinen Ort nicht, es findet keine fortschreitende Bewegung der Wassertheilchen, sondern nur eine Oscillation von abwärts nach aufwärts und wieder abwärts statt, was man an im Wasser schwimmenden Körpern am besten beobachten kann. Sämmtliche Wassertheilchen, die nun zwischen zwei aufeinander folgenden Wellenbergen oder zwischen zwei aufeinander folgenden Wellenthälern liegen, und von welchen jedes seine schwingende Bewegung von abwärts nach aufwärts oder umgekehrt in einem anderen Zeitmoment beginnt, bilden eine Welle, und die Entfernung von Wellenberg zu Wellenberg oder von Wellenthal zu Wellenthal nennt man die Wellenlänge. Alle Wassertheilchen, welche gleichweit von dem Bewegungsmittelpunkte entfernt sind, werden sich im selben Zeitmomente auch im gleichen Bewegungszustande des Aufsteigens oder Niedergehens befinden, und während ein Wassertheilchen von seiner höchsten Stellung niedergeht und wieder bis zur Höhe eines Wellenberges auffsteigt, wird auch die Ausbreitung der konzentrischen Wellen um eine Wellenlänge vom Mittelpunkte weg vorgeschritten sein. In Fig. 1 stellen die ausgezogenen Kreise die Wellenberge, die punktirten Kreise die Wellenthäler vor, M ist der Mittelpunkt, von welchem die Bewegung ausgeht.

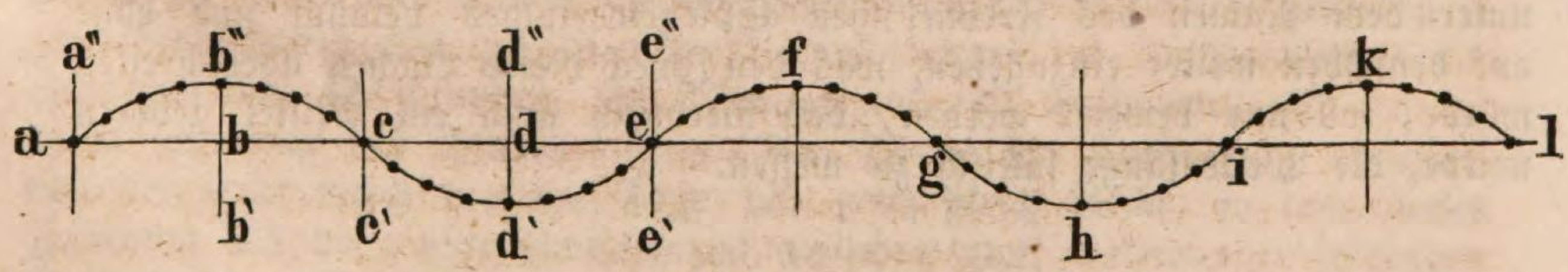
Fig. 1.



Aehnlich verhält es sich mit den Lichtwellen, da aber ein leuchtender Punkt die Wellenbewegung nach allen Richtungen gleichmäßig anregt, so werden sich die Lichtwellen in konzentrischen Kugeloberflächen verbreiten und nicht wie beim Wasser in konzentrischen Kreisen. Die in der Richtung eines Strahles liegenden Lichtätheртheilchen werden senkrecht auf diese Richtung schwingen, sowie die Wassertheilchen senkrecht auf die Richtung des vom Bewegungsmittelpunkte ausgehenden Radius schwingen, oder wie die Theile einer gespannten Saite, wenn sie an einem Ende durch einen Schlag in vibrirende Bewegung gebracht wird. Denkt man sich von irgend einem Punkte der kugelförmigen Wellenoberfläche eine gerade Linie zum leuchtenden Punkte gezogen, so bilden alle in dieser Richtung schwingenden Aethertheilchen einen elementaren Lichtstrahl und ein Bündel solcher Strahlen von einer gemeinschaftlichen Wellenoberfläche einen optisch wirksamen, d. h. einen wahrnehmbaren Lichtstrahl.

Die Vibrationen der Aetherteilchen finden auf folgende Weise statt. Denken wir uns eine gerade Linie, welche die Richtung eines Lichtstrahles angiebt, bestehend aus unendlich vielen aneinander gereihten Lichtätherteilchen, die sich in Ruhe befinden. Zur Bewegung durch einen Impuls angeregt, wird das erste Theilchen eine Oscillation beginnen, und zwar von der Lage in der Linie des Lichtstrahles mit abnehmender Geschwindigkeit weg, bis es an dem Punkte, wo es am weitesten von seiner ursprünglichen Lage entfernt ist, seine Geschwindigkeit ganz verloren hat, um allsogleich denselben Weg mit zunehmender Geschwindigkeit zurück zu machen; dies ist der Weg einer halben Oscillation. Kommt das Theilchen auf diesem Rückwege in die Lichtlinie, so wird es auch seine größte Geschwindigkeit erreicht haben, in Folge dessen an diesem Orte nicht bleiben, sondern, wie ein materieller Punkt in Folge des Trägheitsmomentes, sich nach einer der ersten Richtung diametral entgegengesetzten mit abnehmender Geschwindigkeit so lange fortbewegen, bis diese in seinem größten Abstande von der Lichtlinie gleich Null geworden und dasselbe wieder mit zunehmender Geschwindigkeit in die ursprüngliche Lage zurückkehrt. Dies wäre die zweite Hälfte des Weges einer ganzen Oscillation. Die Geschwindigkeit der Bewegung, sowie die Größe der Abweichung von der Lage der Lichtlinie kann sehr verschieden sein. Die dem ersten Theilchen gegebene Anregung wird sich nun dem zweiten, sodann dem dritten u. s. f. mittheilen, so daß jedes folgende Theilchen seine Oscillation um einen Zeitraum später beginnt und zwar um so später, je weiter die Theilchen vom ersten entfernt sind. Es wird demnach gewiß auch ein Theilchen geben, welches seine Bewegung erst beginnt, wenn das erste die seine vollendet hat, oder anders gesagt, welches von nun an sich immer im gleichen Schwingungszustand mit dem ersten Theilchen befinden wird, während jedes von den zwischen diesen zwei Lichttheilen liegenden in einem anderen Zeitmomente die Schwingung beginnt; alle zwischen zwei solchen Theilchen schwingenden bilden eine Welle, und die Größe der Entfernung je zweier sich in gleichen Schwingungszuständen befindlichen nennt man die Wellenlänge. Daraus folgt wieder, daß alle Theilchen, die um je eine Wellenlänge voneinander entfernt sind, sich in gleichen und alle jene, die um eine halbe Wellenlänge voneinander entfernt sind, sich in solchen Schwingungszuständen befinden müssen, die der Richtung nach entgegengesetzt, jedoch von gleicher Geschwindigkeit sind. Zur Erleichterung des Verständnisses mag die Zeichnung Fig. 2 dienen. Ist a l die Richtung eines Lichtstrahles und sind a, b, c, d, e Lichtätherteilchen,

Fig. 2.



die in der Ruhelage in dieser Richtung liegen, so ist a ein Theilchen, welches die Schwingung nach a" eben beginnt, b ein Theilchen, welches sich im größten Abstande von der Lichtlinie a l in b" befindet, c ein Theilchen, welches bei dem Zurückschwingen eben die Lichtlinie passirt, d ein Theilchen,

welches den größten Abstand in entgegengesetzter Richtung in d' erreicht hat, und e ein Theilchen, welches wie das erste a, eben nach e'' zu schwingen beginnt. Das Theilchen e beginnt also seine Schwingung, wenn a schon eine vollendet hat, und ebenso wird i seine beginnen, wenn das Theilchen e seine erste Schwingung vollbracht hat. a und e sind also zwei Theilchen, die sich im gleichen Bewegungszustande befinden, alle dazwischenliegenden Theilchen, von denen jedes im selben Zeitmomente in einem andern Bewegungszustande sich befindet, bilden eine Welle, deren Länge durch a e gegeben ist. a und c sind eine halbe Wellenlänge voneinander entfernt, besitzen gleiche Geschwindigkeit, bewegen sich jedoch nach verschiedenen Richtungen, a nach a'' und c nach c'. Alle Theilchen schwingen senkrecht auf die Richtung a l wie z. B. b zwischen b' und b'', e zwischen e' und e''. Könnten wir den schwingenden Theilchen plötzlich Halt gebieten, so würden dieselben durch ihre verschiedenen Stellungen die Schlangenlinie a, b'', c, d', e, f u. s. f. bilden.

Aus dem Vorhergehenden folgt aber unmittelbar, daß, wenn Lichtwellen von zwei verschiedenen Punkten ausgehend sich treffen, auch jene Erscheinungen auftreten, die beim Kreuzen von Wasserwellen stattfinden. Wenn an zwei Punkten einer vollkommen ruhigen Wasseroberfläche gleichstarke konzentrische Wellenkreise erregt werden, so werden sich letztere durchkreuzen. An einzelnen Punkten werden zwei Wellenberge oder zwei Wellenthäler zusammentreffen und eine Bewegung von doppelter Stärke hervorbringen, an einem anderen Punkte wird ein Wellenberg mit einem Wellenthal zusammenkommen und die Bewegung wird vollständig aufgehoben werden, und wieder an anderen Punkten werden aufsteigende oder niedergehende Wassertheilchen zusammentreffen und eine Bewegung erzeugen, welche der Summe oder Differenz der Bewegungen der sich treffenden Wassertheilchen entspricht, je nachdem diese gleich oder entgegengesetzt sind. Sowie also bei dem Zusammentreffen von Wasserwellen eine Vernichtung oder eine Verstärkung oder eine Schwächung der Bewegung stattfinden kann, so kann dies auch bei Lichtwellen eintreten, und es kann also Licht durch Licht ausgelöscht werden. So überraschend dieses Resultat denjenigen sein mag, welche das Licht als etwas Körperliches aufzufassen gewohnt sind, ebensosehr muß aber auch jeder Zweifel an der Richtigkeit der eben gegebenen Erklärung der Wellenbewegung des Lichtes verschwinden, wenn man das Experiment kennen lernt, welches der berühmte Physiker Fresnel auszuführen lehrte, und welches allein schon geeignet ist die Vibrationstheorie als die einzige Theorie zu bezeichnen, mit welcher die verschiedenen Lichterscheinungen gleichmäßig können erklärt werden. Dieses Experiment ist unter dem Namen des Fresnel'schen Spiegelversuches bekannt und ohne auf denselben weiter einzugehen, was den Zweck dieses Buches überschreiten würde, soll nur bemerkt werden, daß hierdurch auch ein Mittel geboten wurde, die Wellenlänge faktisch zu messen.

Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes.

Die Fortpflanzung des Lichtes erfolgt geradlinig, und daß dies wirklich so sei, bedarf keines weiteren Beweises, da die Lage des Schattens von Gegenständen, welche vom Lichte beschienen werden, am unzweideutigsten hierfür

spricht. Die Schnelligkeit der Fortpflanzung ist außerordentlich groß, und alle Lichtbewegungen, die auf der Erde stattfinden, gehen mit solcher Geschwindigkeit vor sich, daß es uns erklärbar wird, warum die älteren französischen Physiker und Astronomen der Meinung Descartes', daß das Licht ohne allen Zeitverlust sich fortpflanze, vielen Glauben schenkten. Diese Meinung war so festgewurzelt, daß die sehr folgenreiche Beobachtung, daß die Verfinsterung der Trabanten des Jupiters bei ihrem Eintritte in den Schatten desselben, je nachdem die Erde diesem Planeten näher oder ferner steht, auch früher oder später erfolgt, keine Beachtung fand. Cassini, welcher im Jahre 1675 den französischen Astronomen diese seine Beobachtung mittheilte, war jedoch nicht im Stande, genaue Messungen auszuführen und durch die Uebereinstimmung der Resultate den Beweis der Richtigkeit seiner Ansicht zu liefern. Unter solchen Verhältnissen hätte es leicht geschehen können, daß diese fruchtbare Idee in der Zukunft ganz oder wenigstens durch längere Zeit unberücksichtigt geblieben wäre; es muß daher als ein glücklicher Zufall betrachtet werden, daß ein dänischer Astronom Olaf Römer der von Cassini zuerst entwickelten Idee seine vollste Aufmerksamkeit zuwandte, und durch eine große Zahl von gelungenen Beobachtungen dieselbe zu allgemeiner Geltung zu bringen wußte.

Es dürfte nicht unerwünscht sein, diese scharfsinnige Methode, die Geschwindigkeit der Fortpflanzung des Lichtes zu bestimmen, kurz kennen zu lernen. Der Planet Jupiter ist von vier Trabanten umgeben, welche von verschiedener Größe sind, sich in verschiedenen Entfernungen vom Planeten befinden und ihren Umlauf um denselben auch in verschiedenen Zeiträumen vollenden. Ihre Bahnen liegen mit der des Jupiters nahezu in derselben Ebene; bei ihren Umläufen sieht man sie vor demselben vorübergehen und auf seine Scheibe einen Schatten werfen zum Beweise, daß sie undurchsichtige Körper sind; sie erleiden aber auch Verfinsterungen wie der Mond durch den Schatten der Erde. Die drei Trabanten, welche die geringste Entfernung vom Jupiter haben, erleiden bei jedem Umlaufe eine Verfinsterung, der vierte entgeht zuweilen derselben, weil seine Bahn gegen die des Jupiters etwas geneigt ist. Man bezeichnet sie als den ersten, zweiten, dritten und vierten Trabanten, in welcher Ordnung auch die Entfernung vom Planeten und die Dauer der Umlaufszeit wächst. Man hat nun den ersten Jupitermond, wie man diesen Trabanten auch nennt, zum Gegenstande der Beobachtung gemacht und gefunden, daß die Umlaufszeit desselben nicht immer die gleiche ist. Eine fortgesetzte Beobachtung ließ gewisse regelmäßige Zu- oder Abnahme derselben wahrnehmen, und führte schließlich zu folgender Erklärung dieser Thatsache. Wenn der Planet Jupiter auf seiner Bahn der Sonne gerade gegenübersteht, so vergeht zwischen je zwei beobachteten Anfangszeiten der Verfinsterungen des Jupitermondes ein Zeitraum von 42 Stunden, 28 Minuten und 42 Sekunden, und da bei dieser Stellung des Planeten gegen die Sonne die Entfernung desselben von der Erde durch mehrere Tage fast ganz gleich bleibt, so kann dieser Zeitraum als die wahre Zwischenzeit zwischen zwei aufeinander folgenden Anfängen von Verfinsterungen durch den Schatten des Jupiters angesehen werden. Zu jener Zeit aber, wo sich die Entfernung der Erde von dem Planeten ändert und sich erstere gegen letzteren in gerader Richtung hinbewegt, so daß derselbe immer an seinem Orte zu bleiben scheint, ist die beobachtete Zwischenzeit für je einen Umlauf um 14 Sekunden kürzer und

im entgegengesetzten Falle, wenn die Erde sich vom Jupiter entfernt, um 14 Sekunden länger. Während der Dauer eines Umlaufes nähert sich aber die Erde dem Jupiter um 590,000 Meilen, es hat also der Lichtstrahl einen um diese Größe kleineren Weg zurückzulegen, um auf die Erde zu gelangen und daher tritt auch eine Zeitersparniß von 14 Sekunden ein, anderen Falles findet aber auch für jede Entfernung der Erde vom Jupiter um 590,000 Meilen eine Verlängerung der Umlaufszeit um 14 Sekunden, also wegen des größeren Weges, den der Lichtstrahl machen muß, auch ein größerer Zeitaufwand statt. Das Licht braucht also 14 Sekunden, um 590,000 Meilen zu durchlaufen und kann daher in 1 Sekunde einen Weg von beiläufig 42,000 Meilen zurücklegen.

Etwa fünfzig Jahre später fand diese Berechnung durch eine andere Beobachtung vollkommene Bestätigung; ein englischer Astronom Bradley entdeckte die Abirrung (Aberration) des Lichtes. Wenn von einem Fixstern ein Lichtstrahl auf die Erde gelangt, so würde, wenn letztere in Ruhe wäre, die Richtung des Lichtstrahles uns den Ort bezeichnen, wo sich jener befindet; weil aber die Erde sich bewegt und das Licht Zeit braucht, um auf die Erde zu gelangen, so wird dasselbe einen anderen Punkt der Erdoberfläche treffen, also der Lichtstrahl eine andere Richtung haben, und wir werden den Fixstern in dieser Richtung erblicken. Mißt man den Winkel, den diese zwei Richtungen haben, und ist die Bewegungsgeschwindigkeit der Erde, sowie deren Entfernung vom Fixsterne bekannt, so läßt sich aus der Größe der Aberration der Weg berechnen, welchen das Licht in einer Sekunde zurücklegt; derselbe hat eine Länge von 41,504 Meilen, ein Resultat, welches in Anbetracht der unvermeidlichen Fehler, von welchen keine derlei Beobachtung frei sein kann, mit dem früher erhaltenen vollkommen genügend übereinstimmt und zugleich auch noch als ein Beweis von der Bewegung der Erde angesehen werden muß.

In der neuesten Zeit hat der französische Physiker Fizeau mit Hilfe eines äußerst sinnreichen Apparates und ohne Zuhilfenahme von Körpern, welche sich im Weltraume befinden, neuerdings die Geschwindigkeit des Lichtstrahles bestimmt, und ist hierbei wieder zu dem Resultate gekommen, daß dasselbe in einer Sekunde einen Weg von 42,000 Meilen zurücklegt. Durch diesen Versuch wurde auch unzweifelhaft bewiesen, daß sich das Licht von verschiedenen Lichtquellen gleich schnell fortpflanzt, und daß der Weltraum und die atmosphärische Luft die Fortpflanzung desselben in gleicher Weise gestatten. In Wasser, Glas und anderen dichteren Mitteln zeigte sich die Geschwindigkeit geringer. Auf Grundlage dieser Erfahrungen lassen sich die Zeiten berechnen, welche das Licht braucht, um von den verschiedenen Himmelskörpern auf die Erde zu gelangen; das Sonnenlicht benöthigt hierzu 8 Minuten, das einzelner Fixsterne mehrere Jahre; der gestirnte Himmel zeigt uns daher ein Bild, nicht wie er im Augenblicke der Betrachtung ist, sondern wie er vor kürzerer oder längerer Zeit war; würde die Sonne verlöschen, so könnten wir noch 8 Minuten darnach ihr wohlthätiges Licht empfangen, sowie wir bei ihrem Aufgange erst 8 Minuten später ihre wärmenden Strahlen empfinden.

Der Fortpflanzung des Lichtes werden beim Durchgange durch dichtere Mittel oft Hindernisse entgegengesetzt, so daß dasselbe nicht durchdringen kann, derlei Körper heißen wir undurchsichtige. Absolut undurchsichtig ist aber wahrscheinlich gar kein Körper, da selbst Metallplättchen, wenn sie

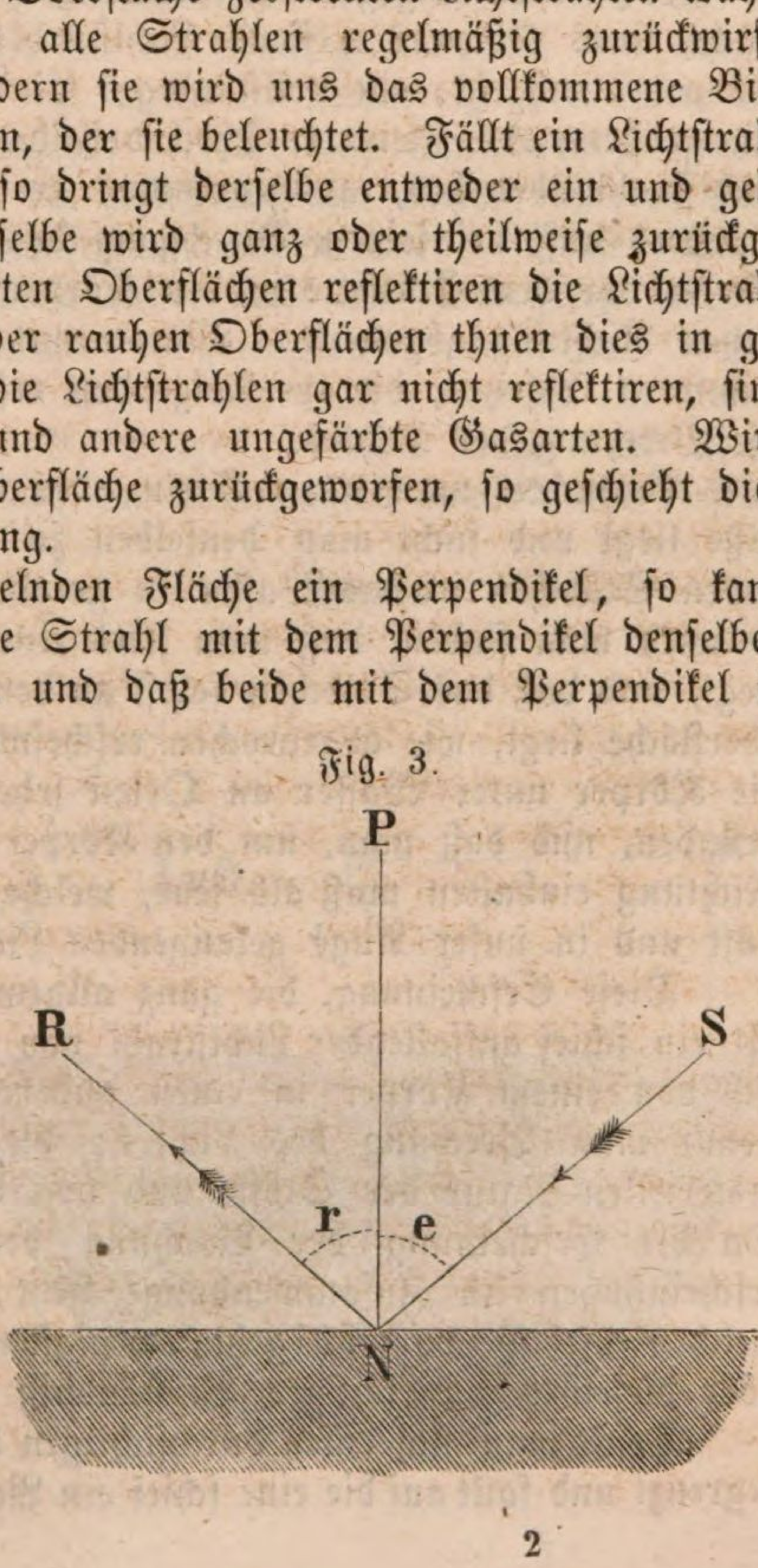
nur dünn genug sind, Licht durchlassen. Goldplättchen erscheinen im durchgelassenen Lichte grün, Silberplättchen blau. Aber selbst die durchsichtigen Körper verlieren diese Eigenschaft, wenn sie hinreichend dick sind. Vollkommen klares Wasser ist in dickeren Schichten grün oder bläulich und eine 700 Fuß dicke Wasserschichte ist ganz undurchsichtig; das Firmament, welches wie eine Kuppel unsere Erde bedeckt, wird auf gleiche Weise in blauer Farbe sichtbar; ein Körper, der alles Licht durchläßt, könnte gar nicht gesehen werden.

Reflexion des Lichtes.

Verbreitet ein Körper Licht, so nennen wir ihn leuchtend. Die leuchtenden Körper können aber Licht geben entweder dadurch, daß ihre kleinsten Theilchen durch irgend einen Impuls selbst in schwingender Bewegung sich befinden, und dann nennen wir sie selbstleuchtende Körper, wie die Sonne oder eine Kerzenflamme, oder sie empfangen Licht von einem selbstleuchtenden Körper, und werfen dasselbe nur zurück, wie der Mond oder ein Spiegel; solche Körper nennen wir beleuchtete. Die beleuchteten Körper können wir nur durch die an ihrer Oberfläche zerstreuten Lichtstrahlen wahrnehmen, eine Oberfläche, welche alle Strahlen regelmäßig zurückwirft, kann man nicht wahrnehmen, sondern sie wird uns das vollkommene Bild des selbstleuchtenden Körpers zeigen, der sie beleuchtet. Fällt ein Lichtstrahl auf die Oberfläche des Körpers, so dringt derselbe entweder ein und geht durch den Körper durch oder derselbe wird ganz oder theilweise zurückgeworfen. Körper mit glatten polirten Oberflächen reflektiren die Lichtstrahlen sehr gut, solche mit matten oder rauhen Oberflächen thuen dies in geringerem Grade; Körper, welche die Lichtstrahlen gar nicht reflektiren, sind für uns unsichtbar wie die Luft und andere ungefärbte Gasarten. Wird ein Lichtstrahl von einer glatten Oberfläche zurückgeworfen, so geschieht dies nach einer ganz bestimmten Richtung.

Errichtet man auf der spiegelnden Fläche ein Perpendikel, so kann man beobachten, daß der reflektirte Strahl mit dem Perpendikel denselben Winkel bildet wie der einfallende, und daß beide mit dem Perpendikel in einer Ebene liegen. Ist in nebenstehender Fig. 3 SN der einfallende, NR der reflektirte Lichtstrahl, und PN das Perpendikel, so ist der Einfallswinkel e gleich dem Reflexionswinkel r. Es ist also die Richtung des reflektirten Strahles von der des einfallenden abhängig, und jemehr die vom Strahle getroffene Oberfläche glatt ist, desto mehr wird auch die Lichtintensität des reflektirten der des einfallenden Strahles gleichkommen. Ein einfacher Versuch kann das Gesagte beweisen. Läßt man durch eine kleine Oeff-

Fig. 3.



nung einen Lichtstrahl in ein finsteres Zimmer treten, fängt denselben mittelst eines Spiegels oder einer anderen polirten Fläche auf, und bringt das Auge in die Richtung des reflektirten Strahles, so wird man auf der spiegelnden Fläche einen der Größe der Oeffnung entsprechenden beleuchteten Fleck, nämlich das Bild derselben, sehen. Begiebt man sich aber an irgend einen anderen Ort des finsteren Zimmers, so wird man zwar auch den vom Lichtstrahl getroffenen Fleck jedoch nur in Folge der unregelmäßig nach allen Richtungen reflektirten Strahlen und ganz schwach beleuchtet wahrnehmen. Wäre die regelmäßige Reflexion eine vollkommene, so könnte dies nicht der Fall sein. Ist die von dem einfallenden Lichtstrahl getroffene Fläche rauh und matt, so wird man vergeblich mit dem Auge den regelmäßig reflektirten Strahl suchen, dafür wird man aber von allen Orten des verfinsterten Zimmers den getroffenen Fleck gleich stark beleuchtet erblicken, weil in diesem Fall durch die rauhe Oberfläche die Lichtstrahlen ganz unregelmäßig, nämlich nach allen Richtungen hin gleichmäßig reflektirt werden.

Brechung des Lichtes.

Wie schon angegeben, kommt auch der Fall vor, daß der die Oberfläche eines Körpers treffende Lichtstrahl theilweise eindringt und durch den Körper durchgeht; ein vollständiges Eindringen findet nie statt, indem stets ein größerer oder kleinerer Theil desselben reflektirt wird. Der durchgehende Lichtstrahl aber hat, ausgenommen er fällt senkrecht auf die Fläche des Körpers auf, bei seinem Durchgang durch diesen stets eine andere Richtung, als er vor dem Eintritte in den Körper hatte; er ist von seiner ursprünglichen Richtung abgelenkt. Man nennt diese Erscheinung, welche nach bestimmten Gesetzen, die im Folgenden erörtert werden sollen, vor sich geht, die Brechung des Lichtes.

Betrachtet man einen Stein, der in einem mit Wasser gefüllten Gefäße liegt und sucht man denselben zu treffen, indem man mit einem geraden Stäbchen in das Wasser in gerader Richtung gegen den Stein fährt, so wird man finden, daß man stets einen Punkt trifft, wo der Stein nicht liegt, und daß das Stäbchen selbst an dem Theile, der gerade in der Wasseroberfläche liegt, wie abgebrochen erscheint. Dieser Versuch beweist, daß wir die Körper unter Wasser an Orten sehen, wo sie sich in Wirklichkeit nicht befinden, und daß man, um den Körper zu treffen, im Wasser eine andere Richtung einhalten muß als jene, welche durch den aus dem Wasser in die Luft und in unser Auge gelangenden Lichtstrahl angezeigt wird.

Diese Erscheinung, die ganz allgemein ist und jedesmal stattfindet, so oft ein schief auffallender Lichtstrahl von einem Mittel in ein anderes, nämlich von einem Körper in einen anderen bei seinem Durchgange gelangt, nennt man Brechung des Lichtes; die Größe derselben hängt von der materiellen Natur der Stoffe und von der Größe des Einfallswinkels ab. Da die Erscheinung der Brechung der Lichtstrahlen mit den Spektralerscheinungen im Zusammenhange steht, so sollen auch die Gesetze, nach welchen dieselbe vor sich geht, wenigstens in soweit erklärt werden, daß über dieselben ein richtiges Verständniß gewonnen werden kann.

Denkt man sich einen durchsichtigen Körper von zwei parallelen Ebenen begrenzt und fällt auf die eine schief ein Lichtstrahl, so wird derselbe bei seinem

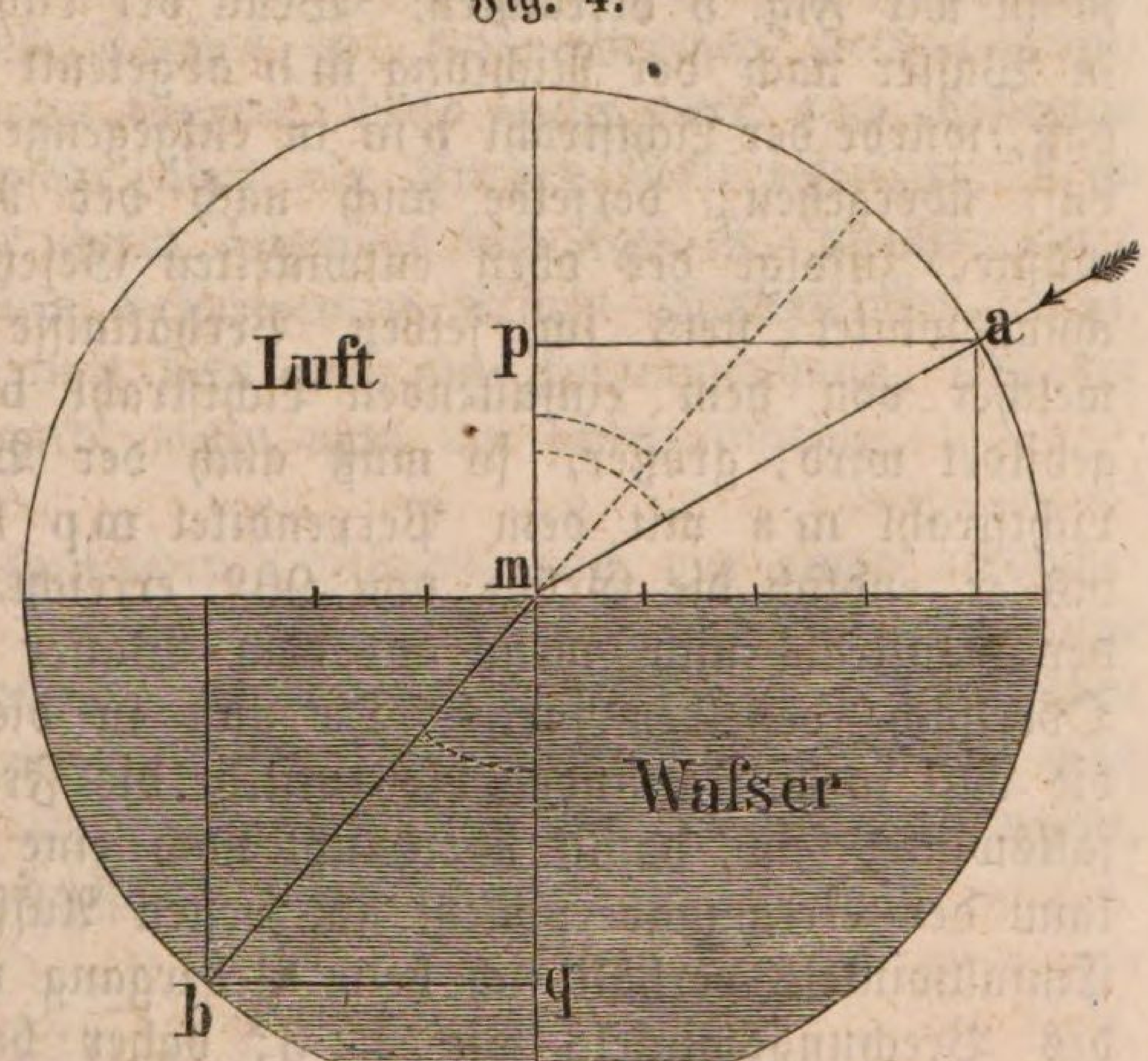
Eintritt eine andere Richtung einschlagen und solange beibehalten, als der Durchgang durch den Körper dauert; tritt der Lichtstrahl durch die andere Fläche aus diesem heraus und in ein anderes durchsichtiges Medium, so wird sich derselbe Vorgang wiederholen. Ist dieses letztere Medium gleichartig mit dem ersten, so wird der Lichtstrahl wieder die ursprüngliche Richtung einschlagen.

Um die Größe der Ablenkung von der ursprünglichen Richtung bei der Brechung eines Lichtstrahles zu messen, errichtet man im Einfallspunkte ein Perpendikel, und mißt sowohl den Winkel, welchen der einfallende, als auch den, welchen der gebrochene Strahl mit demselben bildet. Man nennt diese Winkel Einfalls- und Brechungswinkel. Die Differenz beider giebt die Größe der Ablenkung.

Ist der Brechungswinkel kleiner als der Einfallswinkel, so sagt man, der Strahl habe sich dem Einfallslothe genähert, oder er sei zum Einfallslothe gebrochen, ist derselbe jedoch größer, so sagt man, er habe sich vom Einfallswinkel entfernt, oder er sei vom Einfallslothe gebrochen. Da am häufigsten der Uebertritt von Lichtstrahlen aus der Luft in durchsichtige Flüssigkeiten oder feste Körper vorkommt, und in diesem Falle stets eine Brechung zum Einfallslothe und beim Austritt in die Luft zurück eine Brechung vom Einfallslothe stattfindet, und die Luft ein geringeres specifisches Gewicht hat als Flüssigkeiten oder feste Körper, so hat man den Satz aufgestellt, daß, wenn ein Lichtstrahl aus einem dünneren Mittel in ein dichteres übergeht, derselbe dem Einfallslothe genähert und im umgekehrten Falle, wenn ein Lichtstrahl aus einem dichteren Mittel in ein dünneres übergeht, von demselben entfernt wird. Dieser Satz ist jedoch nicht allgemein giltig und kann daher nicht als Naturgesetz aufgestellt werden, da es Körper giebt, welche bei geringerem specifischem Gewichte ein größeres Brechungsvermögen besitzen, als solche, welche ein höheres specifisches Gewicht haben, wie z. B. Benzol, welches leichter als Wasser ist, und doch eine größere Brechung der Lichtstrahlen bewirkt als dieses.

Ist in nebenstehender Fig. 4 am der einfallende und bm der gebrochene Strahl, und zieht man von m aus einen Kreis mit beliebigem Halbmesser und fällt auf den einen Durchmesser die Senkrechte ap und bq, so drücken diese Perpendikel das Verhältniß des Einfallswinkels zum Brechungswinkel durch Längenmaße aus. Man nennt diese Perpendikel auch Sinus. Da für je zwei Körper, solange sich die physikalischen und chemischen Eigenschaften derselben nicht ändern, das Verhältniß der genannten zwei Winkel stets das gleiche sein muß,

Fig. 4.

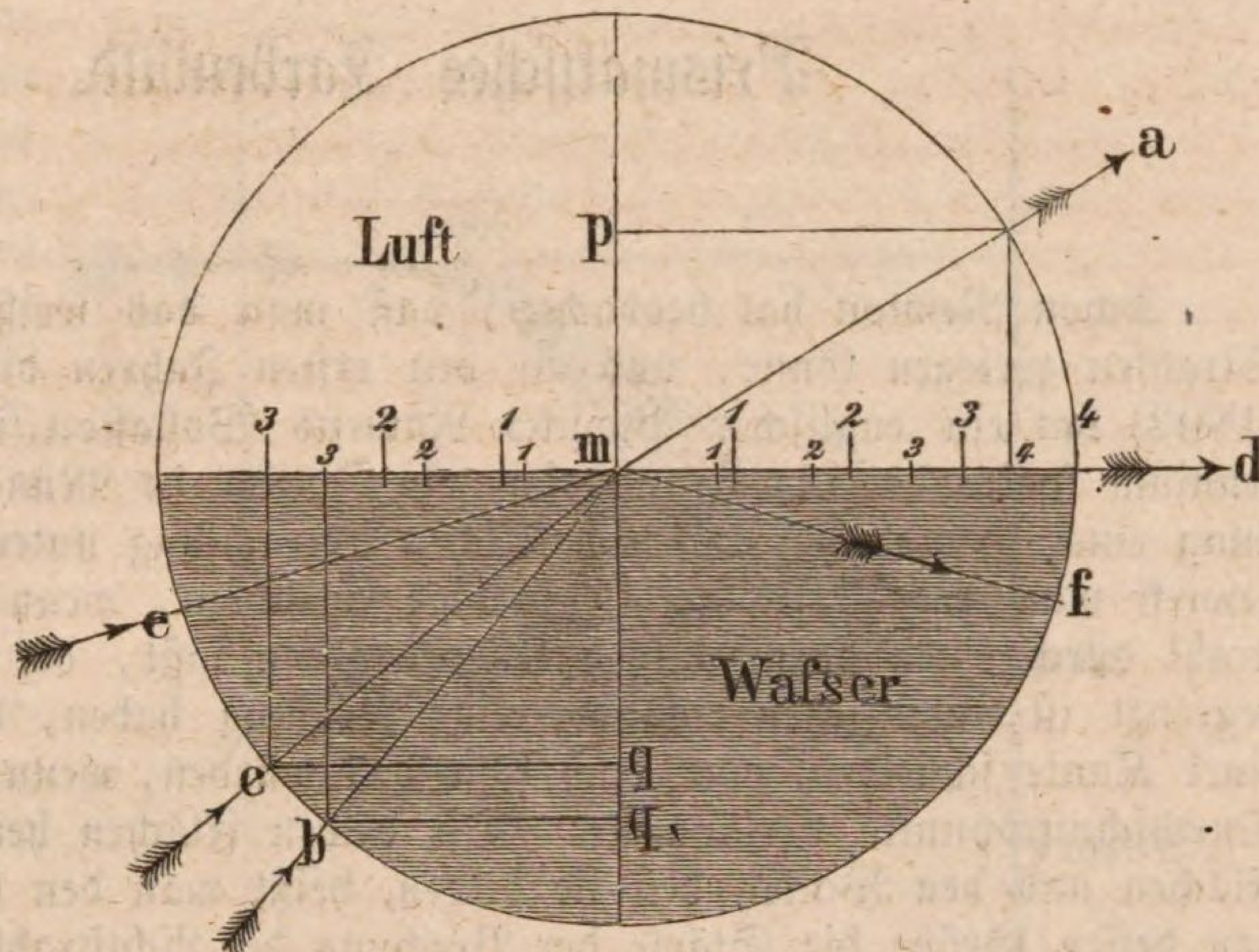


so drückt man dieses Verhalten durch den allgemeinen giltigen Satz aus: der Sinus des Brechungswinkels steht für dieselben Körper auch stets in ein und demselben Verhältniß zum Sinus des Einfallswinkels. Um dieses Verhältniß noch kürzer und durch eine Zahl auszudrücken, so dividirt man den Sinus des Einfallswinkels durch den Sinus des Brechungswinkels und nennt dem Quotienten: Brechungsquotienten.

Geht ein Lichtstrahl von Luft in Wasser Fig. 4, so wird derselbe immer so gebrochen, daß sich die Sinus verhalten wie 4 : 3, es ist der Brechungsexponent für Luft und Wasser $\frac{4}{3}$. Auf ähnliche Weise findet man, daß sich die Sinus bei dem Uebergange von Luft in Glas verhalten wie 3 : 2, es ist demnach für diese zwei Mittel der Brechungsexponent $\frac{3}{2}$. Hierzu ist zu bemerken, daß der Brechungsexponent für die verschiedenen Glassorten auch verschieden ist; so bricht grünes Glas das Licht stärker als das gewöhnliche weiße, und das Bleioxyd enthaltende Flintglas wirkt wieder stärker brechend als die beiden zuerst genannten Glassorten. Von den festen Körpern giebt es nicht sehr viele, welche das Licht stärker brechen als Glas; die in dieser Beziehung auffallenden Körper sind Schwefel, Saphir, Diamant; ein geringeres Brechungsvermögen besitzen Eis, Alaun, Obsidian, Flußspath. Unter den Flüssigkeiten giebt es viele, welche das Licht stärker brechen als Wasser; die folgenden sind nach der Größe ihres Brechungsexponenten für Luft und in steigender Reihe aufgezählt: Wasser, Weingeist, konzentrirte Schwefelsäure, Terpentinöl, Benzol, Kanada-Balsam, Schwefelkohlenstoff, Anisöl.

Schon früher wurden die zwei Bedingungen angegeben, von welchen die Größe der Ablenkung eines Lichtstrahles beim Uebertritte von einem Mittel in ein anderes abhängt; es wurde gezeigt in wieferne die Qualität der Stoffe und die Größe des Einfallswinkels auf diese Erscheinung Einfluß nehmen. Es ist nun sehr bemerkenswerth, daß in gewissen Fällen ein in irgend ein Medium einfallender Lichtstrahl gar nicht gebrochen wird, sondern eine Reflexion erleidet. Am leichtesten dürfte dies verständlich werden, wenn wir Fig. 5 betrachten. Wenn der Lichtstrahl a m bei seinem Eintritt in Wasser nach der Richtung m b abgelenkt wird, so ist leicht einzusehen, daß, würde der Lichtstrahl b m in entgegengesetzter Richtung aus Wasser in Luft übergehen, derselbe auch nach der Richtung m a abgelenkt werden müßte, zufolge des oben entwickelten Gesetzes, daß Einfalls- und Brechungswinkel stets im selben Verhältnisse stehen. Wird der Winkel, welcher von dem einfallenden Lichtstrahl b m mit dem Perpendikel m q gebildet wird, größer, so muß auch der Winkel, welchen der gebrochene Lichtstrahl m a mit dem Perpendikel m p bildet, immer größer werden, bis er endlich die Größe von 90° erreicht. In diesem Falle tritt aber der Lichtstrahl nicht mehr aus dem Wasser heraus, sondern geht in der Oberfläche desselben fort. Da nun in diesem Falle kein Uebergang in die Luft mehr stattfindet, so entsteht die Frage, wie groß darf der Einfallswinkel sein, damit überhaupt noch eine Brechung geschieht. Hierüber kann der Brechungsexponent am besten Aufschluß geben. Der Sinus des Einfallwinkels verhält sich beim Uebergang von Luft in Wasser zum Sinus des Brechungswinkels wie 4 : 3; daher beim Uebergang aus Wasser in Luft wie 3 : 4 oder wie 0,75 : 1. Der Sinus eines Winkels von 90° ist gleich dem Halbmesser des Kreises m d, den man gewöhnlich als Einheit

Fig. 5.



annimmt, und dem Sinus von der Länge 0,75 entspricht ein Winkel von 48° 35'. Alle Lichtstrahlen, welche im Wasser mit dem Perpendikel mq einen Winkel bilden, der kleiner ist als 48° 35', werden bei ihrem Austritt in die Luft gebrochen werden, wie in Figur 5 der Strahl b m, welcher in der Luft die Richtung m a haben wird; jene Lichtstrahlen, welche genau den Einfallswinkel von 48° 35' haben, werden wie oben berechnet in die Richtung der Oberfläche des Wassers gebrochen; jene aber, welche einen Winkel größer als 48° 35' bilden, werden in das Wasser zurückgeworfen wie der Strahl em, welcher nach m f reflektirt wird. Weil also der Einfallswinkel die Größe von 48° 35' nicht überschreiten darf, so nennt man diesen Werth des Winkels Grenzwerth und den Winkel selbst Grenzwinkel; da ferner für je zwei Körper der Brechungsexponent ein anderer ist, so ist auch für je zwei Körper der Werth des Grenzwinkels ein anderer. Man sieht hieraus, daß nicht alle Lichtstrahlen, die sich in einem Medium bewegen, aus demselben in ein anderes übertreten können, und daß das Auge beim Durchsehen durch einen durchsichtigen Körper diesen Verhältnissen entsprechend seine Stellung nehmen muß. Je kleiner der Werth des Grenzwinkels eines Stoffes ist, desto weniger werden Lichtstrahlen aus demselben austreten können, desto mehr aber eine Reflexion oder Spiegelung erleiden; jemehr aber ein Körper Licht reflektirt, desto mehr glänzt er auch, wie dies beim Diamant der Fall ist, welcher einen großen Brechungsquotienten und daher einen kleinen Grenzwinkel besitzt, derselbe beträgt 23° 53'. Damit steht auch im Zusammenhang, daß der Glanz eines Körpers erhöht wird, wenn man ihn schief ansieht.

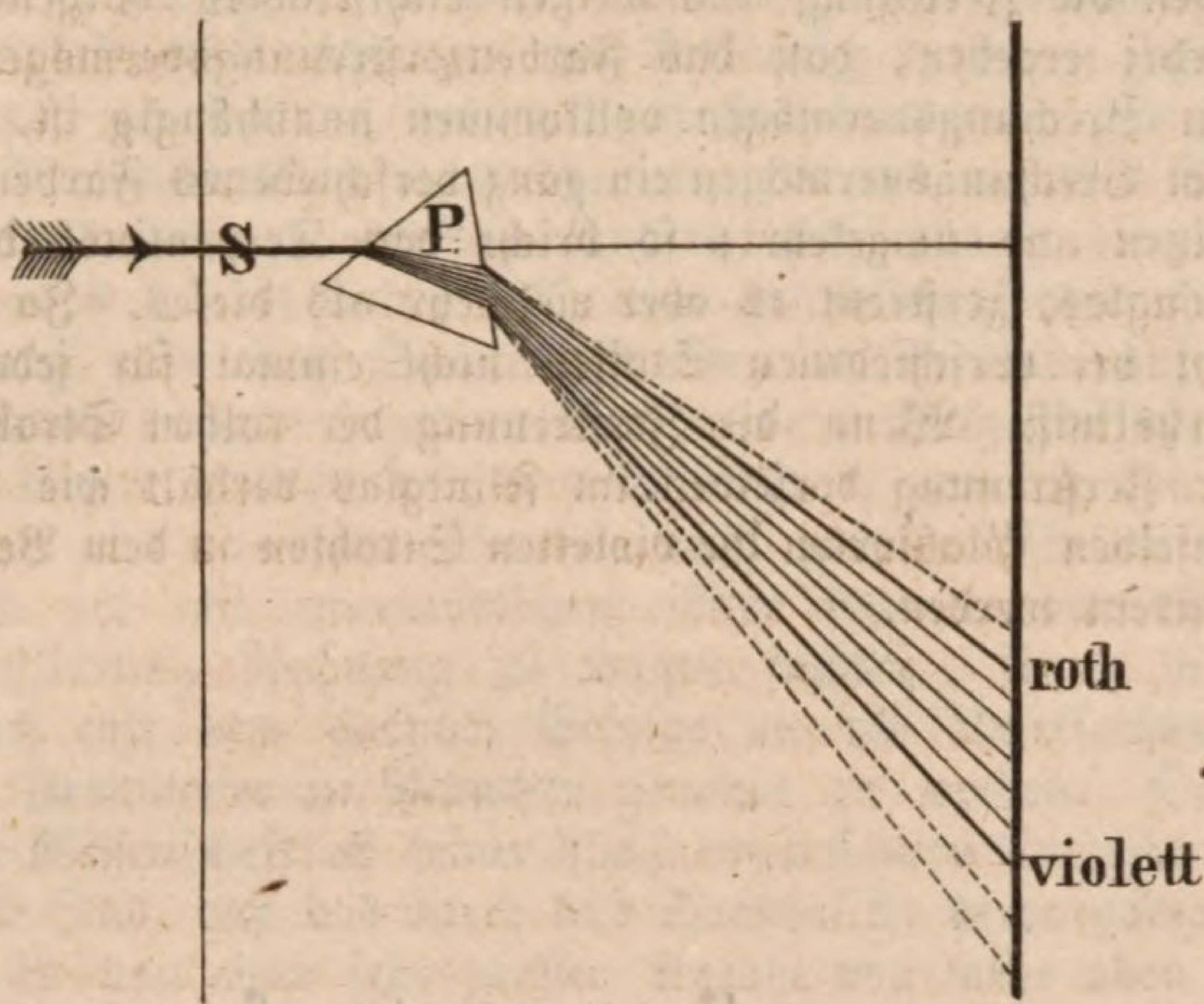
Gewöhnlich giebt ein auffallender Lichtstrahl auch nur einen gebrochenen, es kommen aber auch Körper vor, welche die höchst merkwürdige Eigenschaft besitzen einen einfallenden Lichtstrahl in zwei nach verschiedenen Richtungen abgelenkte Strahlen zu spalten. Diese Erscheinung, die man an wasserhellen Krystallen von Kalkspath, den man auch Doppelspath nennt, am schönsten beobachten kann, heißt die doppelte Strahlenbrechung.

Prismatisches Farbenbild.

Schon Newton hat beobachtet, daß man das weiße Licht in farbige Strahlen zerlegen könne, und in den ersten Jahren dieses Jahrhunderts (1802) hat ein englischer Physiker Namens Wollaston und etwa ein Decennium später (1814) Fraunhofer, ein Optiker in München, diese Erscheinung einer gründlichen wissenschaftlichen Betrachtung unterzogen. Am besten bewirkt man die Zerlegung in farbige Strahlen, wenn man einen Lichtstrahl durch einen durchsichtigen Körper gehen läßt, der von zwei Flächen begrenzt ist, die gegen einander eine Neigung haben, so daß sie sich in einer Kante schneiden, oder doch schneiden würden, wenn man sie bis zum Durchschnittspunkte verlängerte. Die beiden Flächen heißt man brechende Flächen und den Winkel, den sie bilden, heißt man den brechenden Winkel, von dessen Größe die Stärke der Brechung der Lichtstrahlen und die Größe des Farbenbildes abhängt. Gewöhnlich bedient man sich hierzu eines Prismas, nämlich einer dreiseitigen an den Enden abgestutzten Säule. Sieht man durch ein Prisma hindurch auf irgend einen Körper, so erscheint derselbe nicht sowohl nicht an seinem Platze und zur brechenden Kante gerückt, sondern man sieht den Körper auch mit farbigen Rändern eingesäumt. Um diese Farbenerscheinung in ihrer Vollkommenheit zu sehen und zu beobachten, kann man folgendes Experiment ausführen. Läßt man einen Lichtstrahl, gleichgiltig ob von der Sonne oder einer anderen Lichtquelle ausgehend, durch eine enge Spalte in ein sonst gänzlich verfinstertes Zimmer fallen und zwar so, daß derselbe eine Fläche eines Primas trifft, das so gestellt ist, daß seine brechende Kante mit der Richtung der Spalte parallel steht, so wird der Lichtstrahl durch das Prisma durchgehen, gebrochen werden und bei der zweiten brechenden Fläche nicht als weißer Lichtstrahl, sondern als ein Bündel farbiger Strahlen austreten; fängt man diese mit einem weißen Schirme auf, so erhält man das Bild der farbigen Strahlen, das prismatische Farbenbild oder Spektrum. Da es also möglich ist einen weißen Lichtstrahl in farbige Strahlen, wie wir sie und in derselben Aufeinanderfolge beim Regenbogen zu sehen gewohnt sind, zu zerlegen, so muß das weiße Licht aus farbigen Strahlen zusammengesetzt sein in einem solchen Verhältnisse, daß sie Weiß als Mischfarbe geben. Daß dem wirklich so sei, hat schon Newton gezeigt, indem er die farbigen Strahlen durch eine Sammellinse zu weißem Lichte wieder vereinigte.

Man unterscheidet im prismatischen Farbenbilde sieben verschiedene Farben: roth, orange, gelb, grün, lichtblau, indigoblau, violett, welche nicht scharf voneinander getrennt sind, sondern vielmehr allmälig ineinander übergehen. Der Strahl, welcher am wenigsten bei seinem Austritte aus dem Prisma von der ursprünglichen Richtuig abgelenkt wurde, ist der rothe, sodann folgt der orange, auf welchen gelb, grün, blau, indigo und violett der Reihe nach kommen, letzterer ist am meisten von der Richtung abgelenkt. Zur Versinnlichung des Versuches diene die Zeichnung Fig. 6, bei welcher S die Spalte und der Pfeil die Richtung des Lichtstrahles, sowie P das Prisma bedeuten; roth — violett ist die Länge des Farben-

Fig. 6.



bildes. Um dasselbe möglichst rein und klar zu erhalten, ist ein gutes Prisma aus Flintglas mit vollkommen ebenen Flächen und einer Kante, deren brechender Winkel 60° beträgt, erforderlich, welches man der Spalte nahe stellt. Noch besser ist es, den eintretenden Lichtstrahl durch eine Sammellinse aufzufangen und dann erst in das Prisma gelangen zu lassen.

Weißes Licht enthält also Strahlen verschiedener Brechbarkeit und jeder bestimmten Größe der Brechung entspricht ein Strahl von bestimmter Farbe. Die Lichtwellen, welche die Empfindung der verschiedenen Farben hervorbringen, besitzen auch verschiedene Wellenlänge. Läßt man einen farbigen Strahl des Spektrums nochmals durch ein Prisma gehen, so wird derselbe gebrochen, aber nicht weiter zerlegt, man nennt ihn daher auch einfaches oder homologes Licht; durch wiederholte Brechung verliert der farbige Strahl auch nicht die Fähigkeit die Empfindung einer bestimmten Farbe zu erregen.

Das prismatische Farbenbild durch ein Prisma hervorzubringen, scheint eine schon lange, besonders im Oriente, weitverbreitete Kenntniß zu sein und man sagt, daß sich die Beherrscher des himmlischen Reiches, die Kaiser von China, den alleinigen Besitz und Gebrauch der Prismen, gleichsam als ein Majestätsrecht, vorbehalten. Die Farben, welche entstehen, besitzen eine Schönheit und Lebhaftigkeit, die wir auf keine andere Art hervorbringen können; sie stehen aber auch wieder unter sich in einem bestimmten Verhältniß. Wie früher erwähnt, kann man die sieben Farben des Spektrums wieder durch eine Sammellinse zu weißem Lichte vereinigen; macht man diesen Versuch aber so, daß man eine Farbe, z. B. die rothe, ausscheidet, so können die andern Farben zusammen nicht weißes Licht, sondern eine andere Farbe, in diesem Falle grün geben; läßt man zu diesem Grün die rothe Farbe hinzutreten, so erhält man wieder weißes Licht. Nimmt man aus einem Farbenspektrum blau weg, so geben die andern gelb als Mischfarbe; läßt man zu diesem Gelb die blaue Farbe hinzutreten, so muß man wieder weißes Licht erhalten. Je zwei solche Farben nun, von denen die eine eine Mischfarbe, die andere eine einfache Farbe des Spektrums ist, die zusammen weißes Licht geben, heißt man Komplementärfarben; so sind Roth und Grün, Blau und Gelb, Violett und Orange komplementäre Farben.

Der Stoff, aus welchem das Prisma angefertigt ist, übt auf die Größe der Ablenkung, also auf die Größe des Farbenbildes gerade so einen Einfluß aus, wie die Größe des brechenden Winkels; in Folge dessen

hat man Prismen aus den verschiedensten Substanzen verfertigt, und mit diesen die Zerlegung des weißen Lichtstrahles vorgenommen. Es hat sich hierbei ergeben, daß das Farbenzerstreuungsvermögen eines Stoffes von dem Brechungsvermögen vollkommen unabhängig ist, daß Stoffe von gleichem Brechungsvermögen ein ganz verschiedenes Farbenzerstreuungsvermögen besitzen und umgekehrt; so bricht das Terpentinöl das Licht weniger als Kronglas, zerstreut es aber vielmehr als dieses. Ja die Farbenzerstreuung steht bei verschiedenen Stoffen nicht einmal für jede Farbe in demselben Verhältniß. Wenn die Zerstreuung der rothen Strahlen im Kronglas sich zur Zerstreuung derselben im Flintglas verhält wie 10 : 19, so können in denselben Glassorten die violetten Strahlen in dem Verhältnisse von 10 : 21 zerstreut werden.

Sonnenspektrum.

Wir haben bis jetzt von dem prismatischen Farbenbilde gesprochen, ohne auf die Natur des Lichtes, welchem jenes seine Entstehung verdankt, Rücksicht genommen zu haben, da es jedoch von Wichtigkeit ist, zu erfahren, welche Lichtquellen ein solches Farbenspektrum, wie es im Vorhergehenden beschrieben wurde, hervorzubringen im Stande sind, so müssen wir uns diese Frage zu beantworten suchen. Aus vielen Versuchen, die in dieser Rücksicht unternommen wurden, ergab sich, daß man als allgemein giltig den Satz aufstellen könne, daß alle festen und flüssigen Körper, die sich in Glühhitze befinden, und weißes Licht aussenden, diese Erscheinung bewirken, daß also die materielle Natur der glühenden Körper gar keinen Einfluß nimmt, und daß es also ganz gleichgiltig ist, ob ein Kalkstück, oder ein Platindraht, oder ob Kohlenstofftheilchen in Weißgluth leuchten; die Erscheinung des prismatischen Farbenbildes ist immer dieselbe, und es kann nur in der Intensität des Lichtes und folgerecht in der Lebhaftigkeit der Farben ein Unterschied beobachtet werden. Dasjenige, was wir in Kürze über das Farbenbild im allgemeinen gesagt haben, wurde zuerst an dem durch die Zerlegung des Sonnenlichtes hervorgebrachten genau beobachtet, und erst in der Folge war die Aufmerksamkeit der Forscher auf die Untersuchung anderer Lichtquellen hingelenkt.

Die Naturforschung, welche in diesem wie in jedem andern Falle vom Einzelnen ausgehend, aus der Uebereinstimmung oder Verschiedenheit der Beobachtungsresultate zu einem alle Fälle einer bestimmten Art von Erscheinungen umfassenden Ausspruch kommt, hat auf diesem Gebiete großartige Erfolge aufzuweisen. Indem wir es uns vorbehalten, von denselben später und eingehend zu berichten, wenn von den durch die Spektralanalyse bisher erreichten wissenschaftlichen Erfolgen die Rede sein wird, wollen wir jetzt unsere ganze Aufmerksamkeit dem Spektrum des Sonnenlichtes, weil es besondere und höchst interessante Eigenthümlichkeiten besitzt, zuwenden.

Nachdem schon seit Langem die Thatsache bekannt war, daß weißes Sonnenlicht in viele und verschieden gefärbte Strahlen zerlegt werden kann, ohne daß durch wissenschaftliche Forschungen eine Erklärung derselben gegeben wurde, begann Newton zu Anfang des vorigen Jahrhunderts, zur Zeit der Entwicklung der Emanationstheorie, welcher er, wie von mancher Seite behauptet wird, nicht unbedingt anhing, sondern mehr durch die hohe Autorität seines Namens gedient haben soll, eine gründliche Untersuchung über Farbenzerstreuung und das Sonnenspektrum, welche bis auf die neueste Zeit, man könnte beinahe sagen ununterbrochen, fortgesetzt wurde. Die Anregungen zu diesen Studien mögen wohl mächtig gewesen sein für jene Männer, welchen ein intensives Streben nach geistiger Entwicklung angeboren war, und die mit unermüdlichem Eifer dem unabweisbaren Bedürfnisse nach Aufklärung Rechnung zu tragen suchten. Unter diesen Männern, welche sich mit dem größten Erfolge an den Untersuchungen betheiligten, verdient Fraunhofer in München genannt zu werden. Dieser in der Geschichte der Wissenschaft ob seiner höchst interessanten Entdeckungen verdienstvolle Gelehrte fand, daß das durch das Sonnenlicht hervorgebrachte prismatische Farbenbild von einer sehr großen Anzahl von mehr oder weniger deutlichen dunkeln Linien durchzogen sei. Von diesen Linien bezeichnete er zur leichteren Orientirung und Wiederauffindung derselben im Spektrum die hervorragendsten mit Buchstaben, die Mitwelt aber nannte dieselben die F r a u n h o f e r ' s c h e n L i n i e n, und errichtete hierdurch dem Entdecker ein bleibendes Denkmal seiner geistigen Thätigkeit auf dem Gebiete der Wissenschaft. Um jedoch der Wahrheit gerecht zu sein, darf nicht verschwiegen werden, daß Wollaston, ein englischer Gelehrter, etwa schon zehn Jahre früher die dunklen Linien gesehen und beschrieben hat, ohne daß jedoch dieselben Gegenstand weiterer Untersuchungen wurden. Fraunhofer, dem diese Entdeckung unbekannt blieb, fand später ganz selbstständig die dunklen Linien bei Betrachtung eines Sonnenspektrums durch das Fernrohr eines Theodoliten, und beschäftigte sich sodann mit denselben so eingehend, daß seine Beobachtungen bis auf die neueste Zeit unübertroffen blieben.

Dies vorausgeschickt wird es nun gewiß zunächst von Interesse sein, zu erfahren, wie man das Sonnenspektrum herstellen und beobachten muß, um die Erscheinung am deutlichsten zu sehen. Ein Zimmer, dessen Fenster zur vollkommenen Verfinsterung mit Läden verschlossen werden können, dient zum Untersuchungslokale, ein Laden ist mit einer Spalte versehen, vor welcher draußen sich ein Spiegel in solcher Stellung befindet, daß ein auf diesen auffallender Sonnenstrahl so reflektirt wird, daß derselbe durch die Spalte in das Zimmer gelangt. Weil aber durch die Axendrehung der Erde die Stellung der Sonne gegen die Spiegelfläche sich nach kurzer Zeit ändert und der reflektirte Strahl nicht mehr durch die Spalte in das Zimmer fällt, so hat man einen Apparat ausgesonnen, der durch eine mechanische Vorrichtung den Spiegel nach einer der Drehung der Erde entgesetzten Richtung so dreht, daß der vom Spiegel reflektirte Strahl immer durch die Spalte in das Zimmer gelangen kann. Man nennt ein solches Instrument Heliostat. In Entfernung von 4 bis 5 Fuß von der Spalte wird ein Prisma aus Flintglas, oder ein mit Schwefelkohlenstoff gefülltes Hohlprisma, so aufgestellt, daß die Kante desselben parallel zur Spalte, und die eine Fläche senkrecht gegen die Richtung des Lichtstrahles zu stehen kommt, das entstandene Farbenbild wird durch einen weißen Papierschirm

aufgefangen. Ein so erhaltenes Sonnenspektrum kann jedoch nicht vollkommen scharf und rein sein, da ja der einfallende Lichtstrahl ein Strahlenbündel ist und, wenn auch sehr kleine, doch bestimmte Dimensionen besitzt, welche zur Folge haben, daß jeder Vertikalstreifen der Spalte sein eigenes Spektrum erzeugt, und daß das entstandene Farbenbild daher aus vielen Spektren besteht, die theils übereinander gelagert, theils um etwas weniges voneinander verschoben sind, so daß die einzelnen Farben ineinander übergreifen. Um diesem Uebelstande abzuhelfen, kann man entweder nahe vor das Prisma eine zweite Spalte anbringen, wodurch man ein scharfes aber etwas lichtschwächeres Spektrum erhält, oder eine Sammellinse von geeigneter Brennweite vor oder hinter dem Prisma aufstellen. Fraunhofer beobachtete das Spektrum aber nicht mit freiem Auge durch Auffangen auf einem Papierschirme, sondern stets durch ein direkt auf das Prisma gerichtetes Fernrohr von starker Vergrößerung. Bei hinreichender Lichtstärke konnte auf diese Art ein Spektrum erhalten werden, welches die dunklen Linien in großer Anzahl und mit besonderer Schärfe zeigte; der einzige Nachtheil bei dieser Art der Beobachtung liegt darin, daß man auf einmal nicht das ganze Spektrum überblicken kann, sondern nur immer einzelne Theile desselben im Gesichtsfelde erscheinen, und man erst durch Verschieben des Fernrohres die anderen Partien zu Gesicht bekömmt.

Das größte Verdienst Fraunhofers wird es nun stets bleiben, diese dunklen Linien gründlich beobachtet und genau beschrieben zu haben; er fand, daß ihre Stellung im Sonnenspektrum immer die gleiche ist, aber an keine Regelmäßigkeit oder Symmetrie gebunden, auch konnten weder er noch spätere Forscher irgend einen Grund für diese bestimmte aber gänzlich unregelmäßige Gruppirung angeben. Sie finden sich in allen Theilen des Spektrums und unterscheiden sich bedeutend durch ihre Stärke; denn während einige als haarfeine Linien und andere als breitere schwarze Ränder mit scharfer Begrenzung erscheinen, haben manche das Ansehen von Nebelstreifen, so daß sie nur sehr undeutlich gesehen werden können. Um eine Orientirung möglich zu machen, wählte Fraunhofer acht Linien aus, welche durch ihre Stärke sowohl sehr augenfällig sind, als durch ihre Lage das ganze Sonnenspektrum in neun Streifen abtheilen. Diese acht Linien werden mit A, B, C, D, E, F, G und H bezeichnet, und sind auf dem farbigen Sonnenspektrum in der beigegebenen Spektraltafel ersichtlich gemacht. A und B liegen im rothen, C gegen den orangen und D in gelben Theil des Spektrums, E am Uebergang von gelb in grün, F am Uebergang von grün in blau, G im indigoblau, H im violett. Fraunhofer zählte zwischen B und H nicht weniger als 574 Linien ohne die Hauptlinien hinzuzählen; zwischen B und C liegen 9 haarfeine, zwischen C und D 30, von D bis E konnte er 84, von E bis F 76, darunter drei sehr starke, von F bis G 185 und von G bis H 190 zählen.

In der neuesten Zeit wurde diesen Linien sehr viel Aufmerksamkeit geschenkt und beobachtet, daß die Anzahl derselben außerordentlich groß, ja gegenwärtig gar nicht genau bestimmbar ist. Durch Anwendung größerer und schärferer Instrumente gelang es einzelne Linien in Doppellinien oder sogar in ganze Liniengruppen aufzulösen, so daß der Vergleich mit gewissen Nebelflecken am gestirnten Himmel nahe liegt, welche ja ebenfalls durch die Vorzüglichkeit der neueren Beobachtungsmittel sich in ganz deutlich erkennbare Sterngruppen auflösen ließen. So wurde die Linie D des Son-

nenspektrums, welche man lange für eine einfache hielt, nach genauerer Betrachtung als Doppellinie und später als aus drei Linien, nämlich zwei gleich starken und einer dritten sehr feinen bestehend, erkannt. Ein Amerikaner J. P. Cooke jun. will sogar außerdem noch sechs Linien und einen Nebelstreifen beobachtet haben; demnach würde die Linie D aus neun Linien und einem Nebelstreifen bestehen, ein Resultat, welches dadurch erhalten wurde, daß das durch neun Schwefelkohlenstoffprismen erhaltene Spektrum mit einem stark vergrößernden Fernrohr beobachtet wurde. Ebenso hat Professor Kirchhoff in Heidelberg durch seine ausgezeichneten Untersuchungen über das Sonnenspektrum nur in dem Theile desselben, der zwischen den Linien D und F liegt, und ungefähr den vierten Theil des ganzen beträgt, 550 Linien aufgefunden und ihre Lage genau angegeben; das ganze Sonnenspektrum dürfte demnach viele Tausende solcher Linien enthalten, und erst nach Vollendung dieser mühevollen Arbeit wird man im Stande sein, die Zahl derselben anzugeben.

Wie wir bereits im vorhergehenden erörtert haben, so findet bei dem Durchgang eines weißen Lichtstrahles durch ein Prisma eine Zertheilung desselben in unendlich viele einzelne Strahlen statt. Um diesen Vorgang klar zu machen, ist es nothwendig, zu erinnern, daß man unter einem optisch wirksamen Lichtstrahl eine Summe von mathematischen Lichtstrahlen versteht, daher man jenen auch richtiger als Strahlenbündel bezeichnet. Die einzelnen mathematischen Lichtstrahlen sind jedoch durchaus nicht alle gleicher Natur, sondern sie unterscheiden sich wesentlich voneinander, was durch den Versuch auf das eklatanteste bewiesen wird, da derselbe lehrt, daß sie eine ganz verschiedene Brechbarkeit besitzen, und jedem Grade der Brechbarkeit eine bestimmte Farbe zukommt. Bei dem Durchgange durch das Prisma findet also eine Sichtung, eine Zertheilung, eine Anordnung der einzelnen Strahlen je nach dem Grade der Brechbarkeit statt, und daher entsteht ein Farbenbild, in welchem die Farben in einer bestimmten Reihenfolge angeordnet sind. Aber selbst unter den Strahlen ein und derselben Farbe herrscht in Bezug auf Brechbarkeit noch immer eine Verschiedenheit, da jeder Strahl, welcher der rothen Grenze näher liegt, auch eine geringere Brechbarkeit besitzen muß als der von dieser entferntere. Aus dieser Betrachtung ergiebt sich auch, daß es zwischen zwei aufeinander folgenden Farben im Spektrum keine scharfe Grenze geben kann. Wenn nun die einzelnen Vertikalstreifen des Spektrums durch Strahlen von bestimmter Brechbarkeit hervorgebracht werden, so ist es für sich klar, daß die dunklen Linien ihr Entstehen der Abwesenheit von Strahlen verdanken, welche gerade die Brechbarkeit besitzen, die diese Lage im Spektrum erfordern würde. Hieraus folgert sich auch ferner, daß entweder dem Sonnenlichte Strahlen dieser Brechbarkeit fehlen, oder daß dieselben auf ihrem Wege von der Sonne bis zum Prisma absorbirt, d. h., daß ihre Wellenbewegungen vernichtet wurden.

Eine aufmerksame Betrachtung des Sonnenspektrums führt weiter zur Beobachtung, daß die Breite der einzelnen Farben verschieden ist. Eine genaue Bestimmung jener ist aber nicht möglich, weil die einzelnen Farben nicht scharf abgegrenzt sind, sondern vielmehr ineinander übergehen; es kann daher nur eine beiläufige Angabe hierüber gemacht werden. Nimmt man die ganze Breite des Spektrums vom äußersten Roth bis wieder zum äußersten Violett als Einheit an, so entfallen von dieser auf das rothe

Licht, 0,12, auf das orange 0,07, das gelbe 0,13, das grüne 0,17, das hellblaue 0,17, das indigoblaue 0,11 und auf das violette Licht 0,23 Breitentheile. Schon Newton legte den einzelnen Farben diese Ausdehnung bei.

Die Farben der einzelnen Theile des Spektrums sind auch in ihrer Lichtintensität sehr verschieden. Herschel war der erste, der dies bemerkte; er bediente sich eines Mikroskopes, mit welchem er feine Punkte beobachtete, die der Reihe nach durch die verschiedenen gefärbten Strahlen beleuchtet wurden; wegen der ungleichen Brechbarkeit der verschiedenfarbigen Strahlen mußte jedoch die Stellung des Instrumentes, um deutlich zu sehen, für jede Farbe eine andere sein, auch ließ dieses Verfahren keine Messung der Lichtintensitäten zu; dessenungeachtet kam er zu dem von späteren Forschern bestätigten Resultate, daß dieselbe im gelben Theile des Spektrums am stärksten sei, und von da sowohl gegen den rothen wie gegen den violetten Theil beständig abnehme. Fraunhofer wiederholte diese Untersuchungen mit Anwendung eines Apparates, der nach dem Prinzipe der Lichtstärkemesser (Photometer), wie man sie gegenwärtig allgemein gebraucht, eingerichtet war, und berechnete aus den Beobachtungen mit Anwendung des Satzes, daß die Lichtintensitäten den Quadraten ihrer Entfernungen verkehrt proportinal sind, die Lichtstärke der einzelnen Farben des Spektrums. Er hat so gefunden, daß, wenn man diese zwischen gelb und grün in der Nähe der Linie D, wo sie am stärksten ist, als 1000 annimmt, sie im orange 640, im grünen 480, im blau 170, im roth 94, im äußersten roth 32, zwischen blau und violett 31, und im violett 6 beträgt.

Wie groß die Verschiedenheit der einzelnen durch Zerlegung des weißen Sonnenlichtes mittelst eines Prismas erhaltenen Strahlen sei, mag man daraus entnehmen, daß das Farbenbild zwar durch zwei parallele Enden begrenzt ist, daß die Begrenzung jedoch keine scharfe, und mehr einem allmäligen Verschwinden gleicht, und daß über den violetten wie über den rothen Theil des Spektrums noch Strahlen auffallen, die dem Auge aber nicht mehr sichtbar sind.

Da jeder Lichtstrahl sich durch Schwingungen der Aethertheilchen fortpflanzt, und man bei den verschiedenen Lichtstrahlen sowohl eine verschiedene Geschwindigkeit der Wellenbewegung als auch der Wellenlänge beobachtet hat, — Beobachtungen, auf deren Erkärung hier nicht weiter eingegangen werden kann, da sie uns zu weit von unserem Thema führen würde, — so soll nur kurz angegeben werden, daß die rothen Strahlen, welche am wenigsten von ihrer ursprünglichen Richtung abgelenkt werden, nebst dieser geringeren Brechbarkeit auch eine größere Wellenlänge und eine geringere Oscillationsgeschwindigkeit besitzen als die violetten, welche die brechbarsten Strahlen sind, und gerade umgekehrt bei kleiner Wellenlänge die größte Oscillationsgeschwindigkeit haben. Den inzwischen liegenden Strahlen, die den orangen, gelben, grünen und blauen Theil des Spektrums bilden, kommen Mittelwerthe zu, so zwar, daß die Oscillationsgeschwindigkeit gegen den rothen Theil und die Wellenlänge gegen das violette Ende des Spektrums fortwährend abnimmt. Hätten alle Lichtstrahlen gleiche Wellenlänge, so würde man weder eine Zerstreuung derselben durch das Prisma, noch eine Zerlegung in verschiedene Farben wahrnehmen können. Würden die Wellenlängen der Strahlen vom violetten bis zum rothen Licht regelmäßig zuneh-

men, so könnte keine Unterbrechung in der Aufeinanderfolge der Farben stattfinden; da aber die dunklen Linien solche Unterbrechungen wirklich verursachen, so ergiebt sich auch hieraus, daß diese durch die Abwesenheit von Strahlen einer bestimmten Wellenlänge entstehen.

Eine fernere interessante Thatsache ist die, daß sich Licht von jeder Farbe, also von jeder Wellenlänge, gleich schnell fortpflanzt, nämlich mit der schon erwähnten Geschwindigkeit von 41,900 geographischen Meilen in der Sekunde; hieraus läßt sich die Dauer einer vollständigen Schwingung berechnen. Die Wellenlänge für das äußerste Roth beträgt 0,0000281 Par. Zoll, es haben daher in 41,900 Meilen 409 Billionen Wellen rothen Lichtes Platz. Vermöge der Geschwindigkeit des Lichtes, welches nach einer Sekunde am Ende dieser langen Strecke anlangt, sollen also in einer Sekunde die 409 Billionen Wellen ihre Schwingungen vollbringen, und da jede Welle ihre Bewegung zu einem anderen Zeitmomente beginnt und vollendet als alle anderen, so ergiebt sich die Schwingungsdauer für eine Welle mit $\frac{1}{409}$ Billiontel einer Sekunde. Die Wellenlänge für das äußerste Roth ist aber die größte, nimmt gegen Violett ab, und beträgt für diese Farbe nur mehr 0,0000145 Par. Zoll, woraus sich die beinahe doppelt so große Zahl von 791 Billionen Schwingungen per Sekunde für violettes Licht berechnet.

Da wir wissen, daß das Sonnenspektrum durch Strahlen verschiedener Brechbarkeit hervorgebracht wird, so müssen wir es als eine weitere großartige Leistung bezeichnen, daß man noch andere Strahlen von weit größerer Brechbarkeit, als die, welche das violette Licht geben, entdeckt und Mittel gefunden hat, sie, obwohl sie für unser Auge unsichtbar sind, doch unserer Beobachtung zugänglich zu machen. Die schon lange bekannte Thatsache, daß das Sonnenlicht chemische Wirkungen veranlasse, gab Anregung zu einer Reihe von Untersuchungen, welche zum Zwecke hatten, das Verhalten der verschiedenen einzelnen Farben des Sonnenspektrums in Beziehung auf chemische Wirkung kennen zu lernen. Versieht man einen Papierstreifen mit einer dünnen Schichte von Chlorsilber, und läßt ein Sonnenspektrum darauf fallen, so kann man die überraschende Wahrnehmung machen, daß erstens die verschiedenen Strahlen nicht gleich stark chemisch wirken, und zweitens, daß jene Strahlen, welche am stärksten wirken, gar nicht in den sichtbaren Theil des Spektrums fallen, sondern über das violette hinaus gebrochen werden; denn der mit Chlorsilber präparirte Papierstreifen ist an den verschiedenen Theilen ungleich stark geschwärzt. Die chemische Wirkung besteht nämlich darin, daß das Chlorsilber zerlegt wird und das ausgeschiedene Silber als feines, glanzloses, schwarzes Pulver am Papier zurückbleibt. Jener Theil des Papierstreifens, auf welchen rothes und gelbes Licht fiel, ist beinahe gar nicht geschwärzt, wohl aber sind jene Stellen, welche das grüne, blaue und violette Licht empfingen, geschwärzt und zwar in der Weise, daß die Schwärzung von grün bis violett zunimmt. Am stärksten ist sie um jene Stelle, wo die Fraunhofer'sche Linie H liegt und darüber. Jener Theil des Spektrums, der über die Linie H hinaus liegt und mit dem Auge nicht sichtbar ist, wird das chemische Spektrum genannt, er ist dreimal so breit als der andere sichtbare und chemisch unwirksame Theil desselben.

Die Ursache, warum das Spektrum jener Strahlen, welche über das Violette hinaus gebrochen werden, unserem Auge nicht sichtbar ist, ist die, daß sie die verschiedenen Flüssigkeiten unseres Auges nicht durchdringen oder in demselben nicht auf die Netzhaut des Auges, welche eine Ausbreitung des Sehnerves ist, gelangen können. Der rühmlichst bekannte Physiker Helmholtz hat zwar bewiesen, daß dasselbe in einem vollkommen verfinsterten Zimmer von einem Auge, welches durch längeres Verweilen in der Finsterniß eine größere Empfindlichkeit für sehr schwache Lichterscheinungen erhalten hat, wahrgenommen werden kann, aber unter gewöhnlichen Umständen bleibt es stets unsichtbar. Dieser Fall zeigt, daß unseren Sinnen in der Wahrnehmung eine Grenze gesetzt ist, und zwar durch den Bau der Organe; und sowie es einen höchsten und einen tiefsten Ton für unser Ohr giebt, so giebt es auch Grenzen, innerhalb welcher wir Lichtstrahlen als solche empfinden. Eine weitere und nicht minder interessante Thatsache ergiebt sich aus der Bestrahlung eines mit Chlorsilber imprägnirten Papierstreifens, welcher von einem Sonnenspektrum getroffen wurde; es zeigen alle jene Stellen, auf welche die dunkeln Fraunhofer'schen Linien gefallen sind, keine Schwärzung, und selbst über den violetten Theil ließen sich hierdurch eine große Anzahl von solchen Linien auffinden, von welchen die besonders charakteristischen durch Buchstaben L, M, N, O, P, Q, R und S bezeichnet wurden. Da, wie wir früher gesehen haben, die dunklen Linien durch die Abwesenheit von Strahlen, die die dem Orte des Spektrums entsprechende Brechbarkeit besitzen, hervorgebracht werden, so ist es auch natürlich, daß sich an diesen Orten keine chemische Wirkung äußert, also auch keine Schwärzung eintreten kann.

Bei dieser Gelegenheit sei auch bemerkt, daß sich für derlei Beobachtungen zur Zerlegung des weißen Sonnenlichtes ein Prisma von Bergkrystall am besten eignet, weil, wie man jetzt aus sehr zahlreichen Versuchen weiß, der Bergkrystall die einzige Substanz ist, welche alle Arten von Sonnenstrahlen durchläßt.

Wie im Vorhergehenden erklärt wurde, so haben Strahlen einer bestimmten Brechbarkeit ein bestimmtes Verhältniß zwischen Wellenlänge und Wellengeschwindigkeit, letztere ist bei den violetten Strahlen am größten und zwar bis 791 Billionen Schwingungen in der Sekunde. Da die Beobachtungen gelehrt haben, daß Strahlen von noch größerer Wellengeschwindigkeit von unserem Auge nicht mehr als Licht wahrgenommen werden können, so ist es gewiß von höchstem Interesse, daß es Substanzen giebt, welche die Eigenschaft besitzen, die Anzahl der Schwingungen der auf sie auffallenden Strahlen zu verringern, und zwar bis unter jene Grenze, bei welcher das Wahrnehmen derselben noch möglich ist; solche Substanzen nennt man fluorescirende und die Erscheinung selbst Fluorescenz. Eine von den zu diesem Zwecke am häufigsten angewandten Substanzen ist das schwefelsaure Chinin; fängt man das Sonnenspektrum durch einen Papierschirm auf, welcher mit der Lösung dieser Substanz getränkt ist, so wird dasselbe nicht allein wie immer erscheinen, sondern es wird auch der ganze sonst unsichtbare Theil desselben, das chemische Spektrum, in blaß violettem Lichte von zahlreichen dunklen Linien durchzogen sichtbar werden.

Außer dem schwefelsauren Chinin können auch Kaliumplatincyanür, Stechapfel- oder Kurkumatinktur, ein Auszug von Blattgrün oder der Rinde

von der Roßkastanie als fluorescirende Substanzen benutzt werden; es ist durch dieselben ein Mittel geboten, das unsichtbare Spektrum sichtbar zu machen und objektiv darzustellen.

Die Sonne, diese unerschöpfliche Spenderin des Lichtes, sendet aber mit ihren Strahlen außer dem Lichte auch Wärme auf die Erde und das Gedeihen der organisirten Welt ist von dieser ebenso abhängig als von jenem. Wir können daher mit Sicherheit erwarten, daß dem Lichtstrahle, den wir in ein prismatisches Farbenbild zerlegen können, auch Wärmestrahlen beigemengt sind. Und in der That findet man bei aufmerksamer Untersuchung des Sonnenspektrums, daß dasselbe von vielen Wärmestrahlen getroffen werde, und daß sie ebenso den Gesetzen der Wellenbewegung und Brechung unterworfen sind, als die eigentlichen Lichtstrahlen. Die wenigsten Wärmestrahlen finden sich im violetten Theil des Spektrums und nehmen von da gegen den rothen zu, und gleichwie die chemischen Strahlen am Ende des Violett angehäuft sind, so finden sich die meisten Wärmestrahlen im äußersten Roth, ja sie gehen über dieses hinaus, und bilden auf dieser Seite ein unsichtbares Wärmespektrum beiläufig von der Größe des dritten Theiles des ganzen Spektrums.

Unter allen Körpern, die man zur Anfertigung eines Prismas verwenden kann, eignet sich, wenn man das Spektrum auf Wärmestrahlen prüfen will, das Steinsalz am besten, weil es alle Wärmestrahlen durchläßt, was die meisten anderen Körper, wie z. B. Glas nicht thuen. Ueberhaupt ist es merkwürdig, daß sich der Ort, auf welchen das Maximum der Wärmestrahlen fällt, je nach der chemischen Natur der Substanz, aus welcher das Prisma verfertigt ist, ändert. Bei Anwendung eines Prismas aus Crownglas fallen die meisten Wärmestrahlen in das Roth, bei einem Hohlprisma, welches mit konzentrirter Schwefelsäure gefüllt ist, fallen sie in das Orange, ist das Hohlprisma mit Wasser gefüllt, so fallen sie in das Gelb. Ein Flintglasprisma läßt die meisten Wärmestrahlen außer das Roth fallen und nur bei einem Prisma aus Steinsalz kann ein stetiges Zunehmen der Wärmestrahlen vom Violett bis über das Roth wahrgenommen werden.

Der Engländer Herschel, welcher diese Eigenthümlichkeit des Sonnenspektrums zuerst erkannte und untersuchte, hat die Wärme der einzelnen Strahlen durch das Thermometer bestimmt. Er fand, daß dasselbe durch die Einwirkung des rothen Strahles um $6\frac{7}{8}$ Grade, in den grünen Strahlen um $3\frac{1}{4}$ Grade und in den violetten nur um 2 Grade stieg, wenn jene 16 Minuten andauerte. Er hat weiter gezeigt, daß selbst über das Rothe hinaus noch Wärmestrahlen fallen; ein einen halben Zoll von der Grenze des sichtbaren Roth stehendes Thermometer stieg in 10 Minuten um $6\frac{1}{2}$ Grade; wurde das Thermometer um einen ganzen Zoll weit hinausgerückt, so konnte eine Temperaturerhöhung von $5\frac{1}{4}$ Graden beobachtet werden, und selbst bei einer Entfernung von $1\frac{1}{3}$ Zoll betrug dieselbe noch $3\frac{1}{8}$ Grade. Er bestätigte diese Resultate auch noch dadurch, daß er in dem unsichtbaren Theil des Spektrums einen Hohlspiegel aufstellte, und in den Brennpunkt desselben ein Thermometer hielt; es stieg in einer Minute um 19 Grade. Spätere Beobachter bestätigten diese Erfahrungen vollkommen, und fügten noch die bei, daß diese unsichtbaren Wärmestrahlen im Brenn-

punkte eines Hohlspiegels vereint, einen schwachen rothen Schimmer verbreiten, also dem Auge sichtbar gemacht werden können

Es giebt Körper, welche dem Sonnenlichte die chemischen, oder die wärmenden oder die leuchtenden Strahlen wegnehmen können; ersteres kann durch orangegelbe Glasplatten geschehen; läßt man aber Sonnenlicht durch eine Wasserschichte gehen, die zwischen zwei dicken mit Kupferoxyd grün gefärbten Glasplatten eingeschlossen ist, so wird die Leuchtkraft der Sonnenstrahlen beinahe gar nicht verringert, die Wärmestrahlen werden aber so vollständig absorbirt, daß die durchgegangenen Lichtstrahlen, die an ihrer Lichtintensität beinahe gar nichts eingebüßt haben, selbst durch eine Linse, die als Brennglas dient, nicht die geringste Wirkung auf ein selbst sehr empfindliches Thermometer hervorbringen. Schwarzes Glas oder zwei Turmalinplatten, von welchen eine um einen rechten Winkel gedreht ist (Turmalinzange), lassen kein Licht, wohl aber die Wärmestrahlen vollkommen durchdringen.

Es ist eine Grundbedingung für die Naturforschung, wenn dieselbe fruchtbringend sein soll, die Ursachen der Erscheinungen und alle sie begleitenden Umstände vollkommen zu erkennen, nämlich alle Bedingungen zu wissen, durch deren Zusammenwirken eben die Erscheinung hervorgebracht wird. Stellt man in Form eines Experimentes an die Natur eine Frage, so giebt sie bereitwilligst Antwort, aber sie giebt nicht eine Antwort allein, sondern sie giebt gleichzeitig alle Antworten, die sie auf den einen speziellen Fall, der durch das Experiment ausgeführt wird, geben kann. Es ist dann erst wieder Aufgabe der Wissenschaft alle Antworten zu verstehen und, da dies gewöhnlich nicht möglich ist, neuerdings durch besondere Experimente die Fragen so zu stellen, daß die Antworten einzeln erhalten werden. Um nicht mißverstanden zu werden, will ich an einem Beispiele, welches nicht auf das behandelte Thema Bezug nimmt, dies deutlicher machen, und es den geehrten Lesern überlassen, sich ein ähnliches Beispiel für das oben Gesagte mit dem Sonnenspektrum zu bilden.

Wenn man den gewöhnlichen Kalkstein in einem Ofen längere Zeit glüht, so erhält man einen Körper, den man allgemein gebrannten Kalk nennt, und der in seinen Eigenschaften, wie Jedermann bekannt, von dem Kalkstein gänzlich verschieden ist. Man glaubte lange Zeit, daß das Glühen allein die Ursache dieser Aenderung in den Eigenschaften sei. Spätere Versuche haben jedoch gelehrt, daß, wenn man Kalkstein in einem hermetisch verschlossenen Flintenlaufe bis zur Glühhitze einige Zeit erhitzt, derselbe schmilzt, während des Abkühlens krystallinisch erstarrt, aber alle Eigenschaften des Kalksteins bis auf diese Formänderung beibehalten hat. Also Glühhitze allein vermag den Kalkstein nicht in gebrannten Kalk umzuwandeln. Ein anderer Versuch hat gezeigt, daß man durch Glühen von 100 Gewichtstheilen Kalkstein stets nur 56 Gewichtstheile gebrannten Kalk erhält, daß also hierbei ein Gewichtsverlust von 44 Proc. stattfindet. Hieraus folgt, daß der Kalkstein einen bestimmten Theil seiner Substanz durch das Glühen verliert; man konnte demnach den Gewichtsverlust als die Ursache der Aenderung der Eigenschaften betrachten. Weil aber beim Glühen des Kalksteines in einem verschlossenen Flintenlauf kein Gewichtsverlust stattfindet, so ist anzunehmen, daß der feste Verschluß denselben verhindert hat. Andere Versuche haben die materielle Natur jenes Theiles der Substanz des Kalksteines, welche

durch den Glühprozeß verloren ging, ermittelt, und denselben als einen luftförmigen, irrespirablen Körper, den wir Kohlensäure nennen, kennen gelehrt. Fassen wir nun die Ergebnisse dieser Versuche zusammen, so finden wir, daß drei Ursachen zusammenwirken müssen, um den Kalkstein zu brennen, nämlich die Glühhitze, die chemische Zersetzung in zwei Theile, von welchen einer zurückbleibt und der andere sich verflüchtigt, und der Umstand, daß eben der zweite Bestandtheil des Kalksteines luftförmig ist, und durch den Luftzug, der im Ofen herrscht, weggeführt wird; wäre letzteres nicht der Fall, so könnten sich ja die durch die Hitze getrennten Bestandtheile beim Abkühlen wieder vereinigen, und den ursprünglichen Körper den Kalkstein geben. Das Brennen des Kalksteines geschieht also unter diesen drei Bedingungen; sie sind die Antworten, die man gleichzeitig erhält auf die eine Frage: was geschieht, wenn man den Kalkstein glüht? Sie konnten nicht durch das eine Experiment des Glühens erkannt, sondern erst durch besondere von den Naturforschern angestellte Versuche ermittelt werden.

Sowie in diesem, so ist es aber auch in unzähligen anderen Fällen, und nur auf solchem Wege, durch aufmerksame Beobachtung und scharfsinnig angestellte Versuche schreiten wir vor in der Erkenntniß, und gewinnen fort und fort einen tieferen Einblick in die Ursachen der Naturerscheinungen. Wer einst die Geschichte der Wissenschaft schreibt, der wird zeigen, wie man durch viele Jahrhunderte von Entdeckung zu Entdeckung geschritten, und so das begründete, was man heute Naturwissenschaft nennt. Die Kenntnisse, die man gegenwärtig über das Sonnenspektrum besitzt, wurden nur nach dieser einzig richtigen Methode erlangt, und jetzt, wo sie nach Ueberwindung manches Vorurtheiles festen Boden gefaßt, geben die erlangten Resultate glänzendes Zeugniß von ihrem hohen Werthe.

Spektra anderer Lichtquellen.

Sobald durch eine Entdeckung auf dem Gebiete der Naturwissenschaften ein Fortschritt gemacht wird, wird dieselbe auch alsbald ein Gemeingut jener, die sich mit dem betreffenden Zweige der Wissenschaft beschäftigen, und der Unterricht hat sodann die Aufgabe, die neugewonnene Thatsache durch Wort und Schrift den weitesten Kreisen bekannt zu geben.

Hierdurch wird die geistige Thätigkeit vieler auf den neuen Gegenstand gelenkt, es werden durch eingehende Beurtheilung und vielseitige Betrachtung desselben andere Gesichtspunkte gewonnen und neue Ideen angeregt, durch deren Realisirung die weitere Entwickelung der Wissenschaft gefördert wird. Es werden ähnliche Fälle aufgesucht und der gleichen Behandlung unterzogen, es werden Beziehungen zu dem schon Bekannten aufgedeckt, und so aus einer einzigen neuen Thatsache ein neues Gebiet in der Wissenschaft geschaffen.

Nachdem man durch eine Reihe von Untersuchungen die merkwürdigen Eigenschaften des Sonnenspektrums kennen gelernt hatte, nachdem die Fraunhofer'schen Linien, die Wärmestrahlen und die chemischen Wirkungen des Lichtes entdeckt waren, war es wohl natürlich, daß auch andere Lichtquellen der Untersuchung mit dem Prisma unterzogen wurden. Das Licht glühender Körper im festen oder flüssigen Zustande, das Licht der verschiedenen Flammen, das elektrische Licht, sowie das von Fixsternen, wurde gleich dem Sonnenlichte durch das Prisma zerlegt, und so eine große Anzahl von Spektra erhalten, die unter sich große Verschiedenheit zeigten. Alle durch diese Beobachtungen gewonnenen Resultate bilden heute zu Tage das Gebiet der Spektralanalyse, welches durch die vielfachen Anwendungen, die sie gestattet, einen noch größeren Umfang gewonnen hat, und bei dem Umstande, daß sich dieselbe erst in dem Stadium jugendlicher Entwicklung befindet, in Zukunft erst gewinnen wird. Die Vergleichung der Spektra der verschiedenartigen Lichtquellen lehrt uns, was dieselben gemeinschaftlich haben, und worin sie sich unterscheiden, sie zeigt, daß jedem Lichte ein ganz bestimmtes Spektrum entspricht, und daß man häufig aus diesem jenes erkennen kann.

Jede Art von Licht erleidet bei ihrem Durchgange durch ein Prisma eine Brechung und Farbenzerstreuung, jedes prismatische Farbenbild zeigt dieselbe Aufeinanderfolge von Farben, wie wir sie am Sonnenspektrum kennen gelernt haben, und es können alle bei diesem beobachteten Verhältnisse mehr oder weniger deutlich wahrgenommen werden. Viele Spektra zeigen eben solche Unterbrechungen wie das Sonnenspektrum durch die Fraunhofer'schen Linien, ja bei vielen sind diese Unterbrechungen in dem farbigen Theile des Spektrums so häufig und so ausgebreitet, daß dieser oft nicht den zehnten Theil des Spektrums einnimmt, und es den Anschein hat, als ob ein schwarzer Grund von vielen farbigen Streifen oder Linien durchzogen wäre; man kennt sogar Spektra, erhalten durch das Licht von Flammen, die mit gewissen Substanzen gefärbt werden, welche nur aus einem oder zwei farbigen Streifen auf dunklem Grunde bestehen. Da diese farbigen Streifen oft sehr schmal und mitunter auch sehr scharf begrenzt sind, und vollkommen das Aussehen von Linien besitzen, so spricht man bei derlei Spektren ebenso von farbigen Linien, wie man beim Sonnenspektrum von den dunkeln redet. Daß diese Linien aber miteinander nicht zu vergleichen, sondern ganz verschieden sind, darf kaum mehr erwähnt werden, da ja bekannt ist, daß die dunkeln Linien der Abwesenheit von Lichtstrahlen bestimmter Brechbarkeit, die lichten farbigen hingegen dem Vorhandensein solcher ihre Entstehung verdanken. Demnach entstehen also die großen und zahlreichen Unterbrechungen bei den verschiedenen Spektren gerade so wie die Fraunhofer'schen Linien im Sonnenspektrum, und müssen die lichten und farbigen Linien als die Repräsentanten des farbigen Theiles des Spektrums betrachtet werden; letztere beweisen, welche Art von Lichtstrahlen eine Lichtquelle aussendet, und welche ihr fehlen. Die Gesetze der Brechbarkeit für die verschiedenfarbigen Strahlen sind für alle Lichtquellen dieselben.

So häufig Spektra beobachtet werden können, welche die eben beschriebene Eigenthümlichkeit besitzen, in ihren farbigen Theilen zahlreiche Unterbrechungen zu zeigen, ebenso kennt man auch solche, welche gar keine Unterbrechungen oder dunkle Zwischenräume haben, und bei welchen das Farbenbild ein ununterbrochen zusammenhängendes ist. Diese Wahrnehmung gab Veranlassung zu untersuchen, in welchem Zusammenhange dieselbe mit der

physikalischen oder chemischen Natur der Lichtquelle stehe, und führte zu folgendem Resultate. Alle festen oder flüssigen Körper, die sich in Glühitze befinden, senden Licht aus, welches nach einem Durchgange durch ein Prisma ein Spektrum ohne Unterbrechungen giebt; die materielle Natur der Körper übt hierbei gar keinen Einfluß aus, und es ist ganz einerlei, ob man das Licht eines glühenden Platindrahtes, oder das eines weißglühenden Kalkcylinders, oder endlich das des geschmolzenen Eisens zur Herstellung eines Spektrums benützt; in jedem Falle kann in demselben auch nicht die geringste Unterbrechung wahrgenommen werden, und aus diesem Grunde nennt man ein solches Spektrum ein kontinuirliches. Wenn nun das Licht aller glühenden festen oder flüssigen Körper ein kontinuirliches Farbenbild giebt, so ist auch ein Unterscheiden der Lichtquellen, oder das Erkennen einer bestimmten, durch das Spektrum nicht möglich.

Anders gestaltet sich jedoch die Sache, wenn die Lichtquelle ein glühendes Gas ist, oder sich dampfförmige Körper in derselben befinden; das Licht glühender Gase oder Dämpfe erzeugt Spektra mit dunklen Zwischenräumen, dieselben sind für jede Art von Gas oder Dampf ihrer Größe, Anzahl und Vertheilung nach andere, und daher zum Erkennen der materiellen Natur derselben vollkommen geeignet. Solche Spektra heißen diskontinuirliche.

Durch die Unterbrechungen erscheint das Farbenbild als aus einzelnen Streifen bestehend, und da diese, weil sie gefärbt sind, von dem Auge leichter beobachtet und beurtheilt werden können, so ist es zweckmäßiger, bei einem solchen Spektrum die farbigen Linien zum Erkennen eines Stoffes anzuwenden, als die dunklen Unterbrechungen. Es ist hierdurch ein Mittel geboten, die materielle Natur glühender Gase zu erkennen, und es kann als ein großer Fortschritt in der Wissenschaft betrachtet werden, daß es nunmehr möglich ist, durch eine rein physikalische Untersuchung Fragen zu beantworten, deren Lösung ehedem nur durch chemische Forschung geschehen konnte. Eine mit Kochsalzdampf geschwängerte Weingeistflamme giebt ein Spektrum mit einem einzigen gelben Streifen, eine durch ein flüchtiges Kalisalz violett gefärbte Flamme giebt eine rothe und eine violette Linie, die durch ein Lithionsalz karmoisinroth gefärbte Flamme giebt eine rothe und eine lichtorangegelbe Linie; hieraus ersieht man, daß mineralische Substanzen, welche flüchtig sind, ganz bestimmte Spektra geben.

Daß wirklich dem von festen oder flüssigen Körpern kommenden Lichte kontinuirliche und dem von Gasen oder Dämpfen erzeugtem diskontinuirliche Spektra zukommen, läßt sich auf das bestimmteste bei jenen Körpern nachweisen, die man sowohl in dem einen wie in dem anderen Zustande beobachten kann, wie folgende Beispiele zeigen. Schneidet man aus gebranntem Kalke, einer nicht flüchtigen Substanz, die ihrer chemischen Zusammensetzung nach aus Kalcium und Sauerstoff besteht, einen kleinen Kegel oder Cylinder, und erhitzt denselben durch das Knallgasgebläse bis zur Weißglühhitze, so verbreitet derselbe ein weißes und glänzendes Licht, welches ein kontinuirliches Spektrum in schönster Farbenpracht liefert; bringt man jedoch eine flüchtige Kalkverbindung, z. B. die von Kalcium und Chlor in eine Weingeistflamme, oder in die nicht leuchtende Flamme eines Bunsen'schen Gasbrenners, so wird hierdurch dieselbe mit röthlich gelbem Lichte leuchten, und durch dieses ein diskontinuirliches Spektrum hervorgebracht

werden, welches aus einer blauen und mehreren rothen, gelben und grünen Linien besteht. Ebenso verhält es sich mit dem Eisen; während das Licht des geschmolzenen ein ununterbrochenes Farbenbild liefert, zeigt der glühende Eisendampf die große Zahl von einigen sechzig Linien in seinem Spektrum. Wenn also ein und dasselbe chemische Element, wie das Eisen, je nach seinem Aggregationszustande bald ein kontinuirliches, bald ein diskontinuirliches Spektrum hervorzubringen im Stande ist, so muß auch die Ursache dieser Verschiedenheit in jenem begründet sein.

Strahlt ein leuchtender Körper Licht von jeder Brechbarkeit aus, so werden auch in dem farbigen Theile des Spektrums keine Unterbrechungen wahrzunehmen sein, zeigen sich aber solche, so verdanken sie ihr Entstehen der Abwesenheit von Lichtstrahlen gewisser Brechbarkeit, und wir werden zu dem Schlusse kommen, daß dann auch die Lichtquelle nicht alle Arten von Strahlen aussendet. Bringt man diese Anschauung mit dem Aggregationszustande in Zusammenhang, so hat es viele Wahrscheinlichkeit, daß die Ursache, warum dem Lichte glühender Gase Lichtstrahlen gewisser Brechbarkeit fehlen, darin zu finden ist, daß durch die einzelnen von einander entfernten glühenden Gasmoleküle nur ganz bestimmte Wellenbewegungen, die durch die chemische Natur derselben bedingt sind, angeregt werden, während bei festen und flüssigen glühenden Körpern die einzelnen Moleküle in so geringen Abständen sich befinden, daß nicht allein die der chemischen Natur des Körpers entsprechenden Wellenbewegungen, sondern auch alle anderen, vielleicht durch gegenseitige Störungen hervorgebracht werden, also Lichtstrahlen jeder Brechbarkeit entstehen.

Bei dem Umstande, daß nur diskontinuirliche Spektra einen Rückschluß auf die chemische Natur eines glühenden Körpers gestatten, und jene sich nur erhalten lassen, wenn der betreffende Körper in Gas oder Dampfform sich befindet, mußte ein Mittel gefunden werden, auch die am schwersten flüchtigen Körper in Dampfform zu verwandeln.

Glücklicherweise bot sich ein solches in dem elektrischen Funken dar, welcher eine so hohe Temperatur besitzt, daß alle bis jetzt bekannten Metalle, mit Ausnahme des Platins, sich durch denselben verflüchtigen lassen. Es genügt den durch einen Ruhmkorff'schen Induktionsapparat verstärkten elektrischen Strom einer starken Batterie zwischen zwei Metallspitzen überspringen zu lassen, um das Spektrum dieses Metalles ganz vorzüglich beobachten zu können.

Beobachtungen über die Spektra, welche durch das Licht des elektrischen Funkens hervorgebracht werden können, sind schon lange bekannt. Der schon mehrmals genannte ausgezeichnete Forscher Wollaston, der eigentliche Entdecker der dunklen Linien im Sonnenspektrum, fand, daß durch das Licht des elektrischen Funkens kein kontinuirliches Spektrum erhalten werden könne, sondern daß es aus einzelnen hellen Linien bestehe, die durch dunkle Zwischenräume voneinander getrennt sind. Später wiederholte Wheatestone diese Versuche, und ließ den elektrischen Funken von Spitzen aus verschiedenen Metallen, wie: Zinn, Wismuth, Blei, Zink u. s. f. überspringen; er beobachtete, daß jedes Metall dem Lichte des elektrischen Funkens die Fähigkeit ertheile ein Spektrum mit verschiedenfarbigen hellen Linien zu erzeugen, daß diese Linien in ihrer Lage und Zahl je nach dem angewandten Metalle verschieden sind, und daß sonach jedem Metalle ein Spektrum mit einer ganz bestimmten Anzahl von Linien entspricht. Hierdurch war der Beweis

geliefert, daß die chemische Natur der Metalle die Qualität der Lichtstrahlen, welche ihre glühenden Gase aussenden, bedingt, und daß die Verschiedenheit jener sich durch eine eigenthümliche Stellung der hellen gefärbten Linien im Spektrum zu erkennen giebt.

Andere Forscher machten aber Wahrnehmungen, die das eben Mitgetheilte nicht zu bestätigen schienen, sie fanden bei Vergleichung der verschiedenen Metallspektra, daß sich die hellen Linien, die man bei denselben beobachten kann, in zwei Gruppen eintheilen lassen, nämlich in solche, welche für jedes Metall eigenthümlich sind, und in solche, welche bei allen Metallen auftreten, und ihnen daher gemeinschaftlich zukommen. Angström, welcher dieser Erscheinung volle Aufmerksamkeit zuwandte, hat hierüber seine Ansicht dahin ausgesprochen, daß jene Linien, welche bei jedem durch das Licht des elektrischen Funkens erhaltenen Spektrum zu finden sind, auch immer derselben Ursache ihre Entstehung verdanken, und mit der chemischen Natur der Metalle in keinem Zusammenhange stehen. Indem er die Umstände, unter welchen diese Versuche ausgeführt wurden, einer gründlichen Erwägung und kritischen Prüfung unterzog, fand er, daß die atmosphärische Luft durch das Ueberspringen der Funken ebenfalls in Glühhitze versetzt werden muß, und daß daher dieselbe, da sie ein gasförmiger Körper ist, selbst ein diskontinuirliches Spektrum mit hellen Linien geben könne. Die zur Bestätigung dieser Ansicht ausgeführten Experimente bewiesen die Richtigkeit derselben vollkommen. Angström ließ den elektrischen Funken zwischen zwei Messingkugeln überspringen, die in einer Glasröhre sich befanden, welche abwechselnd mit atmosphärischer Luft, mit Sauerstoff, Stickstoff, Wasserstoff oder Kohlensäure gefüllt werden konnte; er erhielt so immer dasselbe Metallspektrum vom Messing, einer Legirung aus Kupfer und Zink, herrührend und verschiedene Gasspektra; in der Mitte des Abstandes der beiden Messingkugeln zeigten sich die Linien derselben am deutlichsten, während in der Nähe der Kugeln die der Metallspektra mehr hervortraten. Diese Versuche lehrten, daß nicht allein die Luft, sondern auch alle anderen Gase, durch den elektrischen Funken in Glühhitze versetzt, eigenthümliche Spektra geben, und daß jene Linien, welche den früher erwähnten Metallspektren gemeinschaftlich waren, von dem Lichte der glühenden Luft herrührten. Diese Versuche sind aber auch gerade das Gegenstück zu den früher beschriebenen; denn während bei jenen die Metalle gewechselt, und die Versuche stets in atmosphärischer Luft ausgeführt wurden, war bei diesen die Luft durch verschiedene Gase ersetzt, und immer dasselbe Metall, nämlich die Messingkugeln, beibehalten worden.

Weil glühende Gase nur sehr schwaches Licht aussenden, so sind auch die Linien ihrer Spekra nicht so hell und so deutlich wahrnehmbar; betrachtet man ein Spektrum, welches durch Luft und einen glühenden Metalldampf gleichzeitig hervorgebracht wird, so bildet das Luftspektrum gleichsam den schwachgefärbten Grund, auf welchem sich das viel intensivere Metallspektrum darstellt; sind die Metallspitzen einander sehr genähert, so ist das erstere kaum mehr wahrzunehmen, weil der Lichtglanz der hellen Linien des letzteren dies verhindert.

Da es also möglich ist, durch den elektrischen Funken Gase in Glühhitze zu versetzen, und durch das Licht derselben diskontinuirliche Spektra mit bestimmten Liniengruppen zu erzeugen, so ist es von Wichtigkeit zu

wissen, wie man das Experiment ausführen muß, um Gasspektra zu erhalten. Wie schon früher erwähnt, ist Platin ein Metall, welches durch die Hitze des elektrischen Funkens sich nicht verflüchtigt; springt daher dieser zwischen zwei Platinspitzen über, so wird nur die Luft in Glühhitze versetzt, und man wird das Luftspektrum für sich beobachten können. Um die Spektra anderer Gasarten ebenso zu erhalten, läßt man die zwei Platinspitzen in die beiden Enden einer mit irgend einem Gase gefüllten und zugeschmolzenen Glasröhre hineinragen; es wird beim Ueberspringen des Funkens das Gas in Glühhitze versetzt werden, und durch das Licht desselben ein Spektrum dargestellt werden können. Da jedem Gase ein anderes Spektrum entspricht, so wird aus der Anzahl und Lage der hellen Linien ein Rückschluß auf die chemische Natur der Gase möglich sein.

Die Luft ist, sowie die meisten Gase, ein schlechter Leiter für die Elektricität, der elektrische Strom hat daher, wenn er durch dieselbe geleitet wird, einen Widerstand zu überwinden, er geht nicht geradlinig, sondern in einem immer wechselnden unregelmäßigen Zickzack, nämlich blitzartig von einer Spitze zur andern. Die Erfahrung hat nun gelehrt, daß verdünnte Gase die Elektricität weit leichter leiten, und daß die Fortpflanzung derselben auf eine ganz regelmäßige Weise, und unter Bildung eigenthümlich gestalteter und gefärbter Lichtfiguren vor sich gehe. Die Färbung dieser ändert sich mit den Gasen, welche in der Röhre eingeschlossen sind, sie ist für Wasserstoff prächtig roth, für Stickstoffgas violett; aber auch der Grad der Verdünnung der Gase ist für die Erscheinung von Einfluß; bei geringerer Verdünnung finden meist noch blitzartige Entladungen statt, bei größerer Verdünnung treten regelmäßige Schichtungen auf, geht sie aber auf die äußerste Grenze, so erlöschen die Lichterscheinungen, weil der elektrische Strom nicht mehr geleitet wird. Plücker, der diese Erscheinungen einer gründlichen Untersuchung unterwarf, hat nachgewiesen, daß atmosphärische Luft, wenn sie auch nur mehr einen Quecksilberdruck von 0,5 Millimeter ausübt, den elektrischen Strom noch ganz gut leitet, und solche Lichterscheinungen hervorbringt; wird der Druck noch geringer, sinkt er auf 0,3 Millimeter, so beginnt das Licht allmälig zu erlöschen, bei 0,1 Millimeter Druck findet kein Uebergang der Elektricität und daher auch keine Lichterscheinung mehr statt. Ebenso interessant ist die Beobachtung, daß zuerst die weniger brechbaren Strahlen, zuletzt aber die brechbarsten erlöschen. In einem von Gasen und Dämpfen vollkommen freien also absolut leeren Raum wird nach Plücker Elektricität nicht geleitet. Das Vakuum in einer Barometerröhre leitet den elektrischen Strom, ist also kein leerer Raum. Dasselbe kann wohl, wenn die nöthigen Vorsichtsmaßregeln angewendet werden, luftleer sein, aber Quecksilberdämpfe wird es immer enthalten, und zwar in einer von der herrschenden Temperatur abhängigen Menge.

An diese Thatsachen knüpfen sich sehr bemerkenswerthe Folgerungen, welche zur Ergänzung dessen dienen können, was im Eingange dieser Schrift über die Natur des Lichtes gesagt wurde. Licht ist eine Bewegungserscheinung, und entsteht durch Schwingungen kleinster Körpertheilchen; fehlen diese, so giebt es auch kein Licht. Im leeren Raume kann durch Elektricität keine Lichterscheinung hervorgebracht werden, weil eben Körpertheilchen fehlen, oder doch wenigstens in zu geringer Menge vorhanden sind; der Vibrationstheorie zufolge ist aber auch der absolut leere Raum mit dem unendlich feinen

Lichtäther erfüllt, woraus folgt, daß dieser selbst nicht Träger des Lichtes sein kann; da aber eine leere Glasröhre durchsichtig ist, so ist dies ein Beweis, daß derselbe die Fortpflanzung des Lichtes vermittelt.

Glasröhren, welche mit verdünnten Gasen gefüllt sind, und in welche Platinspitzen hineinragen, um den elketrischen Strom durchzuleiten, wie sie von Geißler zuerst verfertigt wurden, daher sie auch Geißler'sche Röhren genannt werden, eignen sich vorzüglich zur Beobachtung der Gasspektra. Das durch den elektrischen Strom in solchen Röhren hervorgebrachte Licht giebt für jedes Gas, je nach seiner chemischen Natur ein Spektrum mit eigenthümlichen hellen Linien. Das des Wasserstoffgases ist sehr einfach, es besteht nur aus drei hellen Linien, einer rothen und zwei blauen. Das Spektrum des Sauerstoffes enthält nach Plücker neun helle Linien. Das linienreichste ist jedoch das des Stickstoffgases, die Linien erstrecken sich von der Fraunhofer'schen Linie B bis H; dasselbe zeigt aber noch andere Eigenthümlichkeiten, von welchen später die Rede sein soll. Das Spektrum einer Röhre, welche wie das Vakuum in einer Barometerröhre nur Quecksilberdämpfe enthielt, besteht aus hellen Linien, unter welchen sich drei, eine gelbe, eine grüne und eine violette, besonders bemerkbar machen.

Wenn wir Alles, was wir in diesem Abschnitte über Spektra anderer Lichtquellen gesagt haben, zusammenfassen, so ergiebt sich, daß jedes Licht ohne Ausnahme ein Spektrum geben kann, daß man die Spektra in kontinuirliche und diskontinuirliche eintheilt, und daß letztere dazu dienen können, die chemische Natur des leuchtenden Körpers zu erkennen; es giebt kein eigenes elektrisches Licht, denn es leuchten nur die durch den elektrischen Strom glühend gemachten Körpertheilchen.

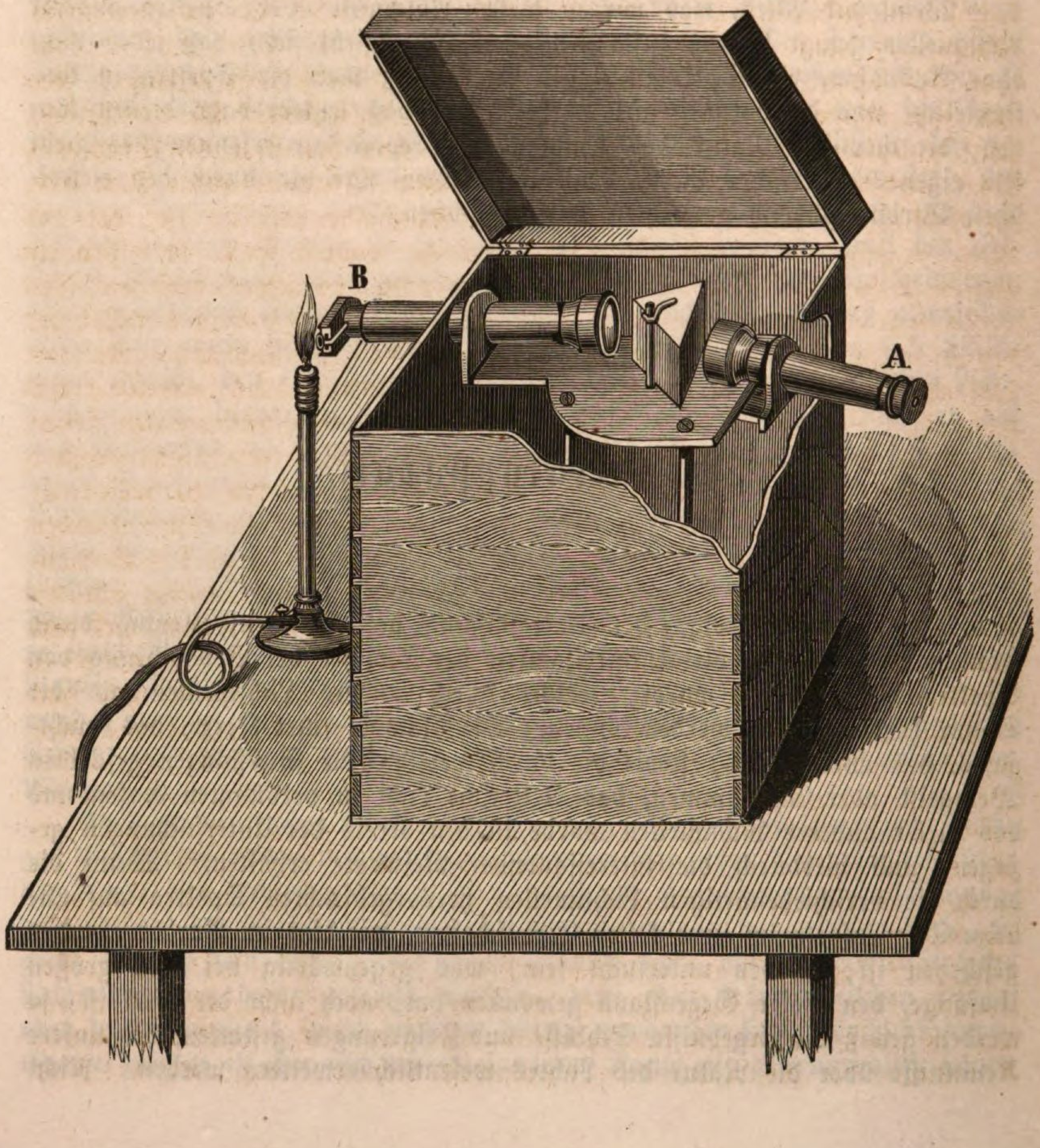
Spektralapparate.

Die wichtigste Folge der Untersuchung des Sonnenspektrums durch Fraunhofer war, daß die Aufmerksamkeit der Forscher der Beobachtung von Spektren zugewendet wurde, welche durch andere Lichtquellen als die Sonne hervorgebracht werden können. Die Flamme einer Kerze, des Leuchtgases, des Weingeistes, sowie die durch verschiedene Substanzen gefärbten Weingeist- oder Gasflammen, das elektrische Licht in verdünnten Gasen und das vieler anderer Lichtquellen wurde in den Kreis der Untersuchungen gezogen, und hierdurch die interessantesten Resultate erhalten. Wenn die durch die verschiedenartigen Lichtquellen hervorgebrachten Spektra auf alle beim Sonnenspektrum entwickelten Eigenschaften, wie dies im Vorhergehenden geschehen ist, werden untersucht sein, was gegenwärtig bei dem großen Umfange, den dieser Gegenstand gewonnen hat, noch nicht der Fall ist, so werden gewiß die Ergebnisse Schlüsse und Folgerungen gestatten, die unsere Kenntnisse über die Natur des Lichtes wesentlich erweitern werden. Nicht

mehr einzelne Forscher sind es, die sich diesen Arbeiten widmen, es beschäftigen sich vielmehr seit der Zeit, als die zwei ausgezeichneten Gelehrten Bunsen und Kirchhoff in Heidelberg aus der Untersuchung der Spektra eine neue Methode der qualitativen chemischen Analyse entwickelt, und hierdurch ein Thema vom allgemeinsten Interesse geschaffen haben, die Jünger der Wissenschaft an allen Orten mit diesem Gegenstande, und die wissenschaftlichen Journale aller Länder bringen fort und fort neue Beobachtungen auf diesem Gebiete.

Bevor wir auf diesen Gegenstand näher eingehen, wollen wir jedoch früher den Apparat kennen lernen, durch welchen alle Arten von Spektra leicht beobachtet werden können, nämlich den Spektralapparat. Abgesehen von den verschiedenen Apparaten, welche in früheren Zeiten für derlei Forschungen in Anwendung kamen, muß der Apparat, mit welchem Bunsen und Kirchhoff ihre ersten Beobachtungen machten, auch als der erste vollkommene Spektralapparat bezeichnet werden. Bei dem großen Aufsehen, welches die erste Publikation der zwei genannten Gelehrten machte, und

Fig. 7.

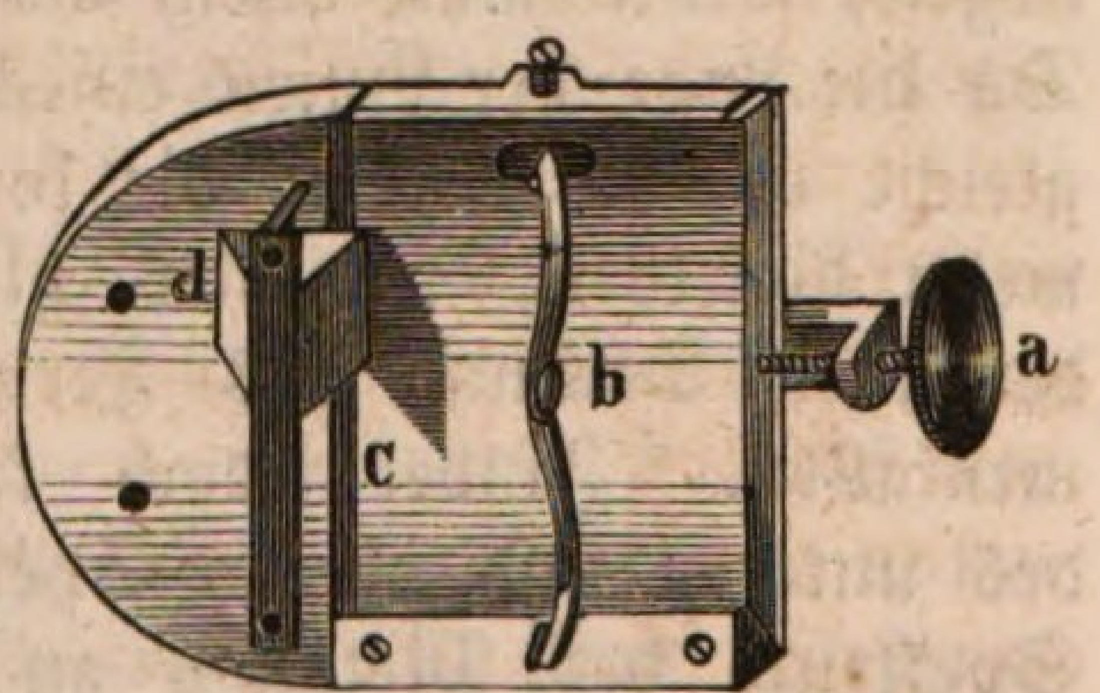


bei dem großen Interesse, welches sich allerorts hierfür kundgab, konnte es nicht fehlen, daß an allen Orten, wo die Wissenschaft eine Stätte gefunden, und die Ausführung einer Idee durch das Vorhandensein der hierzu nöthigen praktischen Kräfte möglich war, die Anfertigung solcher Instrumente versucht wurde. Diese allgemeine Betheiligung konnte der Sache nur förderlich sein, und es wurden mehrfache Verbesserungen, von denen freilich manche wieder in den Schoß der Vergessenheit fielen, ersonnen.

Es kann nicht Aufgabe dieser Schrift sein, die vielen verschiedenen Konstruktionen der Spektralapparate hier eingehend zu beurtheilen, desto wichtiger aber wird es sein die Bedingungen kennen zu lernen, welche ein guter Apparat erfüllen muß, und wie derselbe aufzustellen ist, um richtige Beobachtungen machen zu können. Aus der Erläuterung, die gegeben wurde, um ein deutliches Sonnenspektrum zu erhalten, ist uns bekannt, daß eine Spalte, eine Vorrichtung, um die Lichtstrahlen parallel zu machen, ein Prisma und ein Fernrohr nothwendig sind. Diese vier Erfordernisse enthält jeder bessere Spektralapparat. Zum leichteren Verständniß der Einrichtung eines solchen diene die nebenstehende Abbildung Fig. 7, sie stellt einen Apparat dar, welcher in der mathematischen Werkstätte des k. k. polytechnischen Institutes in Wien angefertigt wurde, und sich zu Spektralbeobachtungen ganz vorzüglich eignet.

Auf dem Boden eines hölzernen Kastens ist ein Fuß befestigt, welcher eine massive eiserne Scheibe trägt, auf dieser befindet sich ein Prisma von Flintglas mit einem brechenden Winkel von beiläufig 60 Graden in fixer Stellung. Die Scheibe läuft auf einer Seite in einen Arm aus, an welchen ein Ring mit einem Schraubengewinde befestigt ist, der das Rohr B hält. Unter der Scheibe ist auf der andern Seite derselben ein zweiter Arm angebracht, der mit einem ebensolchen Ringe versehen, das Rohr A trägt; das Rohr B ist unbeweglich, das Rohr A ist parallel zur Ebene der Scheibe seitlich verschiebbar, daher auch die Wand des Kastens, aus welcher dasselbe herausragt, mit einem entsprechenden Ausschnitte versehen ist. Die Axen beider Rohre liegen in derselben horizontalen Ebene, die brechende Kante des Prismas steht auf dieser senkrecht. Das Rohr A ist ein gewöhnliches astronomisches Fernrohr mit sechsfacher Vergrößerung, dessen Objektiv gegen das Prisma gerichtet ist, das Okular ist mit einem Getriebe versehen, welches gestattet dasselbe je nach dem Auge des Beobachters einzustellen. Das Rohr B ist ebenfalls ein Fernrohr, dessen Objektiv gegen das Prisma zugekehrt, und dessen Okular durch eine von zwei vollkommen geradlinigen Schneiden gebildete Spalte ersetzt ist; letztere ist in der Richtung der Axe des Fernrohrs durch ein Getriebe verstellbar, und kann hierdurch in den Brennpunkt des Objektivs, welches vollkommen achromatisch sein muß, gestellt werden. Die Spalte, deren vordere Ansicht durch Fig. 8 versinnlicht werden soll, kann durch die Stellschraube a breiter oder schmäler gemacht werden. Der obere Theil derselben ist durch ein kleines Glasprisma d verdeckt, welches den Zweck hat, durch totale Reflexion Lichtstrahlen, die von einer seitlich sich befindenden Lichtquelle herkommen, den Eintritt durch die Spalte zu gestatten. Als Lichtquelle

Fig. 8.



benutzt man am besten einen Bunsen'schen Gasbrenner, siehe Fig. 7, dessen nicht leuchtende Flamme durch die Dämpfe der zu untersuchenden Substanz, welche man auf einem dünnen Platindraht in die Flamme bringt, leuchtend gemacht wird. Durch das kleine Prisma d wird es ermöglicht, die Spektra zweier verschiedenen Lichtquellen, von denen sich die eine gerade, die andere seitlich vor der Spalte befindet, gleichzeitig betrachten und vergleichen zu können. In einem solchen Falle wird man im Gesichtsfelde des Fernrohrs A die beiden Spektra übereinander erblicken. Bei der Beobachtung schließt man den Deckel des Kastens, so daß diese durch das zerstreute Tageslicht in keiner Weise beeinflußt werden kann.

Um die relative Lage der einzelnen Spektrallinien bestimmt zu bezeichnen, und um in zweifelhaften Fällen entscheiden zu können, welchem Stoffe eine Linie angehöre, wurde eine Vorrichtung ersonnen, durch welche die Distanz der Spektrallinien gemessen werden kann. Die optische und astronomische Werkstätte von C. A. Steinheil in München, welche überhaupt die ersten Spekralapparate anfertigte, versah ihre Instrumente zuerst mit einer solchen Meßvorrichtung. Sie besteht aus einer Röhre, welche wie die Fernrohre A und B am Apparate befestigt werden kann, und mit diesen in einer horizontalen Ebene liegt; an dem äußeren Ende derselben befindet sich eine durchsichtige Skale; wird diese beleuchtet, so entsteht, da das andere Ende der Röhre einer Fläche des Prismas zugewendet ist, auf dieser ein Spiegelbild derselben, welches bei geeigneter Stellung der Röhre, die nach den Gesetzen der Reflexion leicht auszumitteln ist, gleichzeitig mit dem zu beobachtenden Spektrum durch das Fernrohr A gesehen werden kann. So nützlich diese Vorrichtung in einzelnen Fällen sein kann, so entbehrlich ist sie für die gewöhnlichen chemisch analytischen Zwecke, und ein Beobachter, der sein Instrument kennt, und einige Uebung besitzt, erkennt mit Leichtigkeit die einzelnen Spektra selbst dann, wenn sie gleichzeitig erscheinen. Bei dem Umstande aber, daß die Spektra, wie sie durch ein Prisma erhalten werden, keine große Ausdehnung haben, und die Breite der Spektrallinien von der der Spalte abhängt, ist leicht einzusehen, daß von einer großen Genauigkeit bei der Messung der Linien nicht die Rede sein kann.

Viel entscheidender als die eben beschriebene Meßvorrichtung ist in zweifelhaften Fällen die Anwendung des kleinen Prismas d vor der Spalte. Gesetzt den Fall, man sei im Zweifel, ob eine Linie einem bestimmten Metalle angehöre oder nicht, so hat man zunächst das Spektrum dieses Metalles dadurch herzustellen, daß man eine flüchtige Verbindung desselben als Perle in eine Flamme hält, die so gestellt ist, daß deren Lichtstrahlen durch das kleine Prisma d in die Spalte reflektirt ein Spektrum geben. Die zu prüfende Substanz wird in einer anderen gerade vor dem Spalte befindlichen Flamme verdampft, und giebt ebenfalls ein Spektrum; beide liegen, wenn man durch das Fernrohr A sieht, unmittelbar übereinander. Da die Lage der Linien eines Spektrums aber immer und unveränderlich die gleiche ist, so werden die korrespondirenden Linien zweier gleicher Spektra, wenn dieselben, wie dies hier der Fall ist, bei gleicher Spaltbreite und derselben Stellung des Fernrohres betrachtet werden, vollkommen zusammenfallen. Findet jedoch keine vollkommene Uebereinstimmung der Linie des unteren und oberen Spektrums statt, so gehört dieselbe auch nicht dem Spektrum des Metalles an, mit welchem man sie verglichen hat. Für die genaue Koincidenz zweier Linien in zwei unter gleichen Verhältnissen

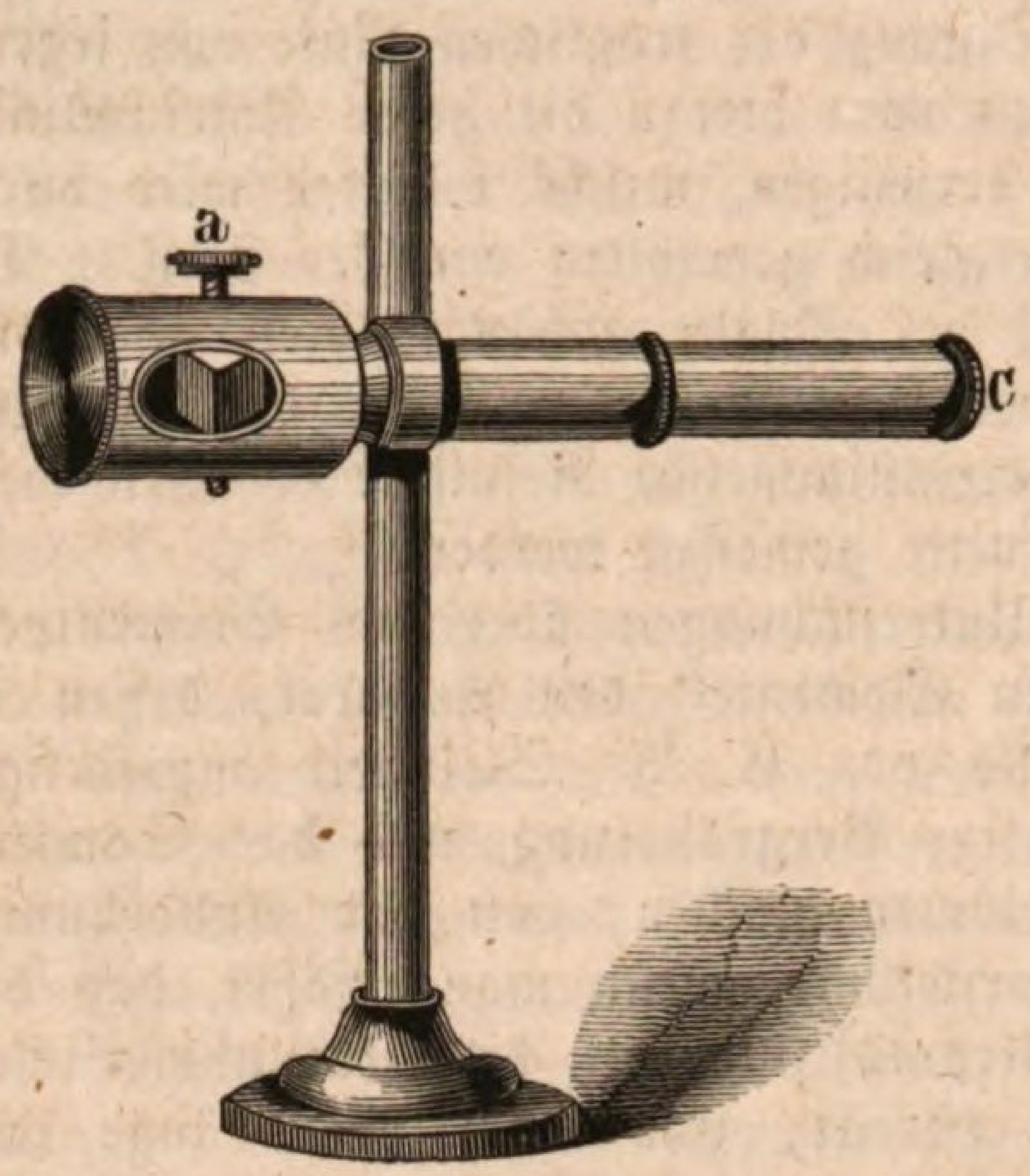
hergestellten und gleichzeitig beobachten Spektra ist jedes Auge viel empfindlicher, als für eine ebenso genaue Einstellung und Ablesung der Skala. Bei Benutzung der Skala muß die Distanz der fraglichen Linie von irgend einer anderen fixen, gewöhnlich benutzt man hierzu die gelbe Natriumlinie, gemessen, und verglichen werden mit derjenigen, welche erhalten wird durch Messung der Entfernung der zum Vergleich gewählten von der fixen. Da die Breite der Linien von der Breite der Spalte abhängt, diese aber von jedem Beobachter ganz willkürlich gewählt wird, so muß bei der Messung der Distanz zweier Linien, wenn übereinstimmende Resultate erhalten werden sollen, von Linienmitte zu Linienmitte gemessen werden.

Kirchhoff beschreibt in seinen „Untersuchungen über das Sonnenspektrum und die Spektren der chemischen Elemente" den Apparat, dessen er sich bediente; derselbe wurde ebenfalls von C. A. Steinheil angefertigt. Das Fernrohr A hatte eine vierzigmalige Vergrößerung, und das Sonnenlicht mußte den Weg durch vier Prismen machen; von der Ausdehnung des Spektrums gewinnt man eine Vorstellung, wenn man erfährt, daß der zuerst veröffentlichte Theil des Spektrums sich von der Fraunhofer'schen Linie D bis wenig über F hinaus erstreckt, und doch eine Länge von 1¼ Meter einnimmt. Bei dieser Untersuchung, bei welcher es sich vorzugsweise um die Vergleichung des Sonnenspektrums mit den verschiedenen Metallspektren handelte, und durch welche die Lage der Spektrallinien zu der der Fraunhofer'schen Linien genau bestimmt werden sollte, war auch die Anwendung einer Skala von großem Nutzen, weil durch dieselbe nicht allein die verschiedenen Linien genau bezeichnet werden konnten, sondern auch jene Orte im Sonnenspektrum, an denen keine dunklen Linien vorkommen.

Unter den Spektralapparaten neuer Konstruktion sind die von H. Rexroth in Wetzlar nennenswerth, ihre Einrichtung ist kurz folgende. Der durch die Spalte eingetretene Lichtstrahl wird durch ein Prisma in rechtwinkeliger Richtung total reflektirt, und gelangt so auf einen Planspiegel, und von diesem wieder durch Reflexion in ein Prisma. Das entstandene Spektrum wird durch ein vertikal stehendes unbewegliches Fernrohr betrachtet; um die verschiedenen Theile des Spektrums in das Gesichtsfeld zu bekommen, ist der Planspiegel um eine horizontale Axe durch eine Schraube drehbar. Ob namentlich diese letztere Einrichtung zweckmäßig, und der freien Beweglichkeit des Beobachtungsfernrohres vorzuziehen sei, mag unentschieden bleiben, der Grund aber, welchen Herr Rexroth für die Güte seiner Instrumente anführt, nämlich, daß dieselben die orange Lithiumlinie zeigen, hängt mehr von der hohen Temperatur der Flamme, durch welche die Spektra erzeugt werden, und von der Menge des in derselben glühenden lithionhaltigen Dampfes, als von der Schärfe der Instrumente ab. Jedenfalls aber muß es als ein Fortschritt bezeichnet werden, daß kleinere derlei Instrumente gegenwärtig verfertigt, und um billige Preise verkauft werden, weil hierdurch die weitere Verbreitung und Anwendung der Spektralanalyse wesentlich gefördert wird.

Einen Apparat der einfachsten Art hat Mousson angegeben. Er besteht aus einer Röhre, siehe Fig. 9, die an einer Seite mit einer Spalte c, welche man beliebig erweitern und verengern kann, versehen ist; auf der anderen Seite befindet sich ein Prisma, welches durch die Schraube a beliebig gedreht werden kann, und dessen brechende Kante in jeder Stellung mit der Spalte parallel ist. Sieht man schief gegen das Prisma, und

Fig. 9.



hält die Spalte gegen eine Lichtquelle, so kann man das Spektrum derselben, wenn auch klein, so doch recht scharf und deutlich wahrnehmen. Hat man die Stellung des Prismas einmal ausgemittelt, und die Richtung gefunden, in welcher sich das Auge befinden muß, so kann man ersteres festmachen, und dem letzteren durch Anbringen eines kurzen Ansatzrohres die Richtung bezeichnen, die es beim Beobachten einnehmen muß.

Will man mit einem Spektralapparate beobachten, so ist es vor allem nothwendig, daß die einzelnen Theile des Apparates sich in richtiger Stellung befinden. Damit aber der Beobachter in der Lage ist sich den Apparat selbst einzustellen, wenn dies nicht schon vom Verfertiger des Instrumentes geschehen ist, so soll nun im folgenden beschrieben werden, wie es zu geschehen hat. Zuerst wird das Fernrohr A, Fig. 7, so gerichtet, daß das Auge des Beobachters mit demselben einen sehr weit entfernten kleinen Gegenstand deutlich sehen kann; ist dies geschehen, so befestigt man das Fernrohr am Apparate, richtet dasselbe so, daß es in die Verlängerung des anderen Rohres B zu liegen kommt, und sieht nun durch das Objektiv desselben nach der Spalte, nachdem man das inzwischen liegende Prisma herausgenommen hat. In den meisten Fällen wird man die Spalte nicht deutlich sehen, es muß daher dieselbe durch das am Rohre B angebrachte Getriebe so lange verschoben werden, bis sie deutlich und scharf sichtbar ist. Diese Einstellung ist sehr wichtig, denn wenn das Beobachtungsfernrohr so gerichtet ist, daß man einen sehr weit entfernten kleinen Gegenstand deutlich sieht, so ist anzunehmen, daß, da die Lichtstrahlen, welche von diesem Gegenstande kommen, nahezu parallel sind, dasselbe für parallele Strahlen überhaupt richtig gestellt ist. Nachdem die beiden Rohre so eingestellt wurden, handelt es sich nun darum, für das Prisma den rechten Platz auszumitteln; dies unterliegt jedoch keinen Schwierigkeiten, wenn man bedenkt, daß es sich nur darum handelt, das Prisma so zu stellen, daß dessen brechende Kante auf der Ebene senkrecht steht, in welcher die optischen Axen der beiden Rohre liegen, und daß dessen Fläche von den aus der Mitte des Objektives des Rohres B austretenden Lichtstrahlen ebenfalls in der Mitte getroffen werden. Diese Bedingungen können erfüllt werden, wenn man nach Kirchhoff's Angabe auf folgende Weise verfährt. Man bringt die beiden Rohre in eine solche Stellung, daß sich ihre Axen nahezu in einem rechten Winkel schneiden, und stellt im Durchschnittspunkte eine planparallele spiegelnde Glasplatte so auf, daß sie senkrecht auf die Axen der Rohre steht, und mit diesen Winkel von 45° bildet. Man sucht nun durch kleine Nachbesserungen in der Stellung der Glasplatte und des Fernrohres dahin zu kommen, daß der Spalt als Spiegelbild auf der Platte erscheint, und

dessen Mitte mit dem Schnittpunkte des Fadenkreuzes des Fernrohres zusammenfällt; zeigen beide Flächen der Glasplatte diese Erscheinung, so stellt man statt derselben das Prisma hin, und sucht demselben ebenfalls eine Stellung zu geben, daß jede der zwei brechenden Flächen das Bild der Spalte so giebt, wie es für die Glasplatte ausgemittelt wurde.

Schon Newton hat angegeben, daß das Spektrum nur dann mit größter Schärfe sichtbar gemacht werden kann, wenn das Prisma auf den Winkel der kleinsten Ablenkung eingestellt ist. Unter dem Winkel der kleinsten Ablenkung versteht man eine solche Stellung des Prisma, bei welchem der einfallende Lichtstrahl mit seinem Einfallslothe denselben Winkel bildet, als der austretende Lichtstrahl mit dem seinigen. Da jedoch ein optisch wirksamer Lichtstrahl meistens aus Strahlen verschiedener Brechbarkeit zusammengesetzt ist, oder mit andern Worten gesagt, weil die Größe des Brechungsverhältnisses sich mit der Farbe des gebrochenen Strahles ändert und zwar so, daß dieselbe für den Uebergang von Luft in Flintglas für den rothen Strahl am kleinsten und für den violetten am größten ist, also von Roth gegen Violett beständig zunimmt, so ist es auch natürlich, daß man von einem Winkel der kleinsten Ablenkung nur für einen Strahl von bestimmter Farbe, nicht aber für das ganze Spektrum sprechen kann.

So wichtig es ist dieses Verhältniß zu kennen, namentlich bei Apparaten mit mehreren Prismen, ebenso wenig wird aber auch der Spektralanalytiker Schwierigkeiten haben bei einiger Aufmerksamkeit für das Prisma die rechte Stellung auszumitteln.

Chemische Analyse durch Spektralbeobachtungen.

Der Werth eines jeden wissenschaftlichen Problems läßt sich nach zwei Richtungen beurtheilen, je nachdem man die Entwicklung der Wissenschaft als solche, oder die Anwendungen, welche man von derselben machen kann, im Auge hat. Die eine Richtung kann als die der positiven Forschung, die sich ausschließlich mit der Erklärung der Naturerscheinungen und der Ableitung von Naturgesetzen befaßt, bezeichnet werden, während die andere vom Standpunkte der Nützlichkeit ausgehend, die Wege aufsucht, wie die Erfolge der Wissenschaft zu verschiedenen Zwecken verwerthet werden können; die eine entspricht dem Drange des menschlichen Geistes nach Aufklärung über die verschiedenen Vorgänge in der Natur, dessen letztes Ziel das Verständniß der Wechselwirkungen zwischen den Kräften und Stoffen ist, die andere findet in der stets vorschreitenden Entwickelung der Künste und Gewerbe eine mächtige Anregung. Es kann daher nur als eine natürliche Folge angesehen werden, wenn nach Entdeckung und objektiver Begründung der Spektralerscheinungen die Bestrebungen der Männer der Wissenschaft dahin gerichtet waren, die auf diesem Gebiete gewonnenen Resultate zur Förderung verschiedener Zwecke anzuwenden. Unter diesen nimmt aber das Er-

kennen bestimmter Stoffe durch die Spektra derselben den ersten Rang ein, und es muß daher die chemische Analyse durch Spektralbeobachtungen als eine der wichtigsten Anwendungen bezeichnet werden, da sie uns erlaubt, auf einem ganz neuen und physikalischen Wege zu Resultaten zu gelangen, deren Erreichung bisher nur durch chemische Methoden möglich war.

Da wir aus dem Vorhergehenden wissen, daß nur glühende Gase oder Dämpfe diskontinuirliche Spektra hervorbringen können, und daß nur diese sich voneinander unterscheiden lassen, so ist es eine Grundbedingung für die Anwendbarkeit der Spektralerscheinungen zur chemischen Analyse, daß der zu untersuchende Stoff gas- oder dampfförmig sei, oder doch die Fähigkeit besitze sich in einen solchen Zustand versetzen zu lassen. Ist dies nicht der Fall, so muß entweder der zu untersuchende Stoff in eine andere chemische Verbindung übergeführt werden, welcher die Eigenschaft der Flüchtigkeit zukommt, oder man muß auf die Erkennung des Stoffes durch Spektralanalyse verzichten.

Um eine Uebersicht zu erhalten, in wieferne die Spektralanalyse das Erkennen chemischer Substanzen ermöglicht, muß vorausgeschickt werden, daß die Chemie gegenwärtig 65 Stoffe kennt, die sich durch physikalische wie chemische Eigenschaften derart unterscheiden, daß sie als vollkommen verschieden betrachtet werden müssen; man nennt dieselben, da sie ferners auch noch die Eigenthümlichkeit zeigen, sich auf keine Weise weiters zersetzen zu lassen, Grundstoffe oder Elemente. Diese Stoffe vereinigen sich in den verschiedensten Verhältnissen miteinander, und bilden eine sehr große Anzahl von chemischen Verbindungen. Berücksichtigt man den Aggregationszustand der Grundstoffe, so findet man, daß sich unter denselben und bei gewöhnlicher Temperatur fünf gasförmige und zwei flüssige befinden, alle übrigen 58 aber feste Körper sind. Bei erhöhter Temperatur werden die zwei flüssigen ebenfalls gasförmig, und von den 58 festen werden alle bei entsprechend gesteigertem Hitzegrade flüssig; eine Ausnahme hiervon macht der unschmelzbare Kohlenstoff. Jene Grundstoffe, welche schmelzbar sind, lassen sich auch meistens durch noch weitere Steigerung des Hitzegrades verflüchtigen, doch nicht alle zeigen diese Eigenschaft. Das Platin, welches nur bei der höchsten Temperatur, die wir hervorbringen können, flüssig wird, kann nicht dampfförmig erhalten werden, ebenso dürften sich auch einige andere noch wenig untersuchte Grundstoffe verhalten. Hieraus folgt, daß sich zwei sehr wichtige Stoffe, der Kohlenstoff und das Platin der Erkennung durch Spektralbeobachtung entziehen, und es entsteht nun die Frage, ob dieselben, wie schon früher erwähnt, in Verbindungen übergeführt werden können, welche flüchtig sind, und hierdurch die Erkennung derselben dennoch möglich gemacht werde. Was nun den Kohlenstoff betrifft, so kann derselbe sowohl in Kohlenwasserstoff als auch in Kohlensäure übergeführt werden, Verbindungen, die entweder schon gasförmig sind, oder doch leicht in diesen Zustand versetzt werden können; vom Platin jedoch kennt man bis jetzt keine Verbindung, welche sich in Dampfform verwandeln ließe.

Beurtheilt man die Grundstoffe nach anderen physikalischen Eigenschaften, so kann man dieselben auch anders gruppiren. Je nach der Fähigkeit die Elektricität und die Wärme zu leiten, unterscheidet man Metalle und Metalloide; zu letzteren gehören die fünf gasförmigen Grundstoffe,

einer von den zwei flüssigen, und noch sieben feste. Diese 13 Elemente leiten die Elektricität gar nicht und die Wärme nur in einem sehr geringen Grade. Die übrigen 52 Grundstoffe leiten Wärme und Elektricität gut, sind mit alleiniger Ausnahme des Quecksilbers. bei gewöhnlicher Temperatur starre Körper, und heißen Metalle. Eine strenge Grenze zwischen Metallen und Metalloiden läßt sich nicht ziehen, und es ist wohl von selbst verständlich, daß in chemischer Beziehung eine Eintheilung der Grundstoffe nach physikalischen Eigenschaften nicht maßgebend sein kann.

Die 65 Grundstoffe geben, wie schon früher erwähnt, eine sehr große Anzahl von chemischen Verbindungen, und es werden sich daher die Fälle viel häufiger finden, in welchen die Bestandtheile einer chemischen Verbindung ermittelt werden sollen, als jene, bei welchen es sich nur um die Erkennung eines einzelnen Elementes handelt. Unterzieht man die verschiedenen Verbindungen des Metalles Kalcium der Spektralanalyse, so macht man die überraschende Wahrnehmung, daß man stets das gleiche Spektrum erhält, daß es also einerlei ist, ob man hierzu Chlorkalcium, Bromkalcium, Jodkalcium, salpetersauren Kalk, schwefelsauren Kalk, kohlensauren Kalk u. s. f. anwendet; überdies stimmt das durch diese Verbindungen erhaltene Spektrum mit dem durch das Metall Kalcium hervorgebrachten vollkommen überein, wenn die Darstellung der Spektra unter übrigens gleichen Umständen geschah. Man sollte glauben, daß auch die anderen Stoffe, die in den angeführten Kalkverbindungen enthalten sind, ebenfalls Spektra geben, und daß hierdurch gemischte Spektra entstehen, und doch findet dies nicht statt. Diese Thatsache mag darin ihre Erklärung finden, daß die Temperatur, bei welcher die verschiedenen Stoffe Spektra liefern, sehr verschieden ist, und daß ein lichtschwaches Spektrum von einem sehr hellen und aus glänzenden Linien bestehenden derart verdunkelt werden kann, daß jenes nicht wahrnehmbar ist. So kann ja das Natriumspektrum durch den Lichtglanz seiner gelben Linie ein anderes gleichzeitig erscheinendes unsichtbar machen. Unrichtig wäre aber jedenfalls der Schluß, daß alle jene Grundstoffe, welche in den angeführten Kalciumverbindungen enthalten sind, überhaupt keine Spektra liefern; im Gegentheil, Sauerstoff, Stickstoff, Chlor, Kohlensäure u. s. f. geben im isolirten Zustande für sich ganz eigenthümliche und charakteristische Spektra, durch welche sie ebenso unterschieden werden können, wie die Metalle; nur in Verbindung mit diesen können ihre Spektra nicht wahrgenommen werden, da sich die der Metalle in hervorragender Weise geltend machen.

Es wurde schon zu wiederholten Malen der Satz ausgesprochen, daß jedem Grundstoffe ein Spektrum zukommt, welches durch die Anzahl, Lage, Breite und Helligkeit seiner Linien so bestimmt charakterisirt ist, daß es eben hierdurch von jedem anderen Spektrum leicht unterschieden werden und man als allgemein giltig den Satz aufstellen kann, daß die Linien eines Spektrums einzig und allein nur von der Qualität des glühenden Dampfes, also von der chemischen Beschaffenheit desselben, abhängig sind. Unbeschadet der vollen Giltigkeit dieses Fundamentalsatzes muß jedoch erwähnt werden, daß das Spektrum ein und desselben Stoffes nicht immer mit derselben Deutlichkeit erscheint, und nicht immer dieselben Linien und in derselben Anzahl zeigt, und daß hierauf die Menge des glühenden Dampfes, die Temperatur, welche derselbe angenommen hat, sowie die

Farbe und Breite der Linien einen nicht unerheblichen Einfluß nehmen. Es wurde dies durch viele Versuche auf das unzweifelhafteste erwiesen, und für den Spektralanalytiker ist es von großer Wichtigkeit diese Verhältnisse beurtheilen zu können.

Kirchhoff und Bunsen haben gezeigt, daß die geringsten Mengen von Grundstoffen und Verbindungen, welche überhaupt noch im Stande sind ein Spektrum hervorzubringen, je nach der chemischen Natur derselben verschieden sind. Eine Quantität, welche hinreicht um das Natriumspektrum sehr deutlich zu zeigen, genügt für die Wahrnehmung des Lithiumspektrums nicht mehr, und Kalium oder Kaliumverbindungen müssen wieder in noch größerer Menge als Dampf vorhanden sein, als dies für Lithium nothwendig ist. Im allgemeinen kann man sagen, daß unter übrigens gleichen Umständen die Deutlichkeit des Spektrums mit der Menge des Dampfes bis auf eine gewisse Grenze zunimmt.

Die Quantitäten, welche sehr deutlich die Spektralreaktionen noch hervorbringen können, sind jedoch stets sehr gering; sie lassen sich dem Gewichte nach zwar durch Zahlen ausdrücken, sind aber so klein, daß sie selbst nicht mehr gewogen werden können. Aus diesem Grunde übertrifft auch diese Methode der Analyse jede andere an Empfindlichkeit, und gestattet den Nachweis eines Körpers, der auf jedem anderen Wege unmöglich wäre.

Welchen Einfluß die Temperatur der Dämpfe auf die Darstellung von Spektren nimmt, mag aus folgenden Betrachtungen ersichtlich werden. Vor allem muß bemerkt werden, daß die verschiedenartigen Substanzen bei sehr verschiedener Temperatur sich verflüchtigen. Wendet man hierzu eine Weingeistlampe an, so wird man finden, daß sich manche Substanzen in derselben leicht, andere schwer, und wieder andere gar nicht verflüchtigen, und dies ist auch die Ursache, warum bei Anwendung einer Weingeistflamme manche Spektra deutlich und andere undeutlich oder gar nicht erscheinen. Diesem Umstande ist es zuzuschreiben, daß W. A. Miller, der schon im Jahre 1845 die Spektra der durch verschiedene chemische Verbindungen gefärbten Weingeistflammen untersuchte, keine scharfen Spektra erhielt. Er war nicht in der Lage aus der Beobachtung der Spektra jenen Schluß zu ziehen, in welchem eben der höchste Werth der Spektralanalyse liegt, nämlich, daß das Spektrum mit der chemischen Natur des die Lichtquelle bildenden glühenden Dampfes in einem bestimmten und unveränderlichen Zusammenhange steht, wiewohl diese Idee damals, wenn auch nur in ganz unbestimmter Weise, schon ausgesprochen, also bekannt war. Der rühmlichst bekannte Physiker David Brewster veröffentlichte zehn Jahre früher eine wissenschaftliche Untersuchung über die Absorptionserscheinungen, welche bei dem Durchgange des Lichtes durch die Dämpfe der Untersalpetersäure stattfinden. In dieser Abhandlung, welche in Poggendorf's Annalen vom Jahre 1836 mitgetheilt ist, kommt eine Stelle vor, welche auf das unzweideutigste die oben berührte Idee ausspricht, und daher hier, weil sie für die Geschichte der Entwickelung der Spektraluntersuchungen von Interesse ist, wörtlich angeführt werden soll. Sie lautet: „der erste und hauptsächlichste Gegenstand meiner (Brewster's) Untersuchungen, nämlich, die Auffindung eines allgemeinen Prinzipes der chemischen Analyse, in welcher einfache und zusammengesetzte Körper charakterisirt werden könnten durch ihre Wirkung auf bestimmte Theile des Spektrums, blieb noch zu verfolgen.“

Das Verfahren, welches W. A. Miller befolgte, bestand darin, daß er die zu untersuchenden Verbindungen in Weingeist löste, und die Flamme desselben zur Darstellung von Spektralerscheinungen benutzte. Dieses Verfahren zog den Untersuchungen enge Schranken, denn nach diesem Vorgange waren alle Substanzen, welche in Weingeist unlöslich sind, oder bei der Temperatur des verbrennenden Weingeistes sich nicht verflüchtigen, schon von vorne herein ausgeschlossen. Die Flamme des Weingeistes besitzt auch noch die für derlei Untersuchungen störende Eigenschaft, daß sie leuchtet, und wenn dies auch nur in einem geringen Grade geschieht, so ist es doch schon hinreichend, um die lichtschwächeren Linien des Spektrums zum großen Theil unsichtbar zu machen. Alle diese Uebelstände können beseitigt werden durch Anwendung einer Flamme, die gar nicht leuchtet, und eine solche Temperatur besitzt, daß die zu untersuchenden Verbindungen sich leicht in derselben verflüchtigen.

Bunsen und Kirchhoff wandten daher mit dem besten Erfolge Leuchtgas an, welchem vor der Verbrennung so viel Luft beigemischt wird, daß eine gar nicht leuchtende, sondern nur eine schwach blau gefärbte aber sehr heiße Flamme resultirt. Sie benutzten den Bunsen'schen Gasbrenner. Die zu untersuchende Substanz wurde auf einem sehr feinen Platindraht als Perle in den Saum der Flamme gebracht, und durch die Hitze derselben verdampft. Es zeigte sich, daß hierdurch eine größere Anzahl von Spektra erhalten werden kann, und daß sich diese vor den durch die Weingeistflamme hervorgebrachten ganz besonders durch Lichtstärke und Deutlichkeit der einzelnen Linien auszeichnen. Die beiden genannten Gelehrten konnten endgültig feststellen, welche Linien zusammen das Spektrum eines bestimmten chemischen Stoffes bilden, welche zur Erkennung eines solchen charakteristisch sind, und wie sich dieselben in Bezug auf Lichtstärke von einander unterscheiden. Sie waren die ersten, welche zu den Versuchen mit größter Sorgfalt hergestellte chemisch reine Substanzen verwendeten, was früher nie geschah. Sie führten die Versuche aber nicht allein mit der Flamme des Leuchtgases durch, sondern auch ebenso mit den Flammen des verbrennenden Schwefels, Schwefelkohlenstoffes, Weingeistes, Kohlenstoffoxydgases, Wasserstoffgases und Knallgases. Sie fanden: „daß die Verschiedenheit der chemischen Verbindungen, in denen die Metalle angewendet werden, die Mannichfaltigkeit der chemischen Prozesse in den einzelnen Flammen, und der ungeheure Temperaturunterschied dieser letzteren keinen Einfluß auf die Lage der den einzelnen Metallen entsprechenden Spektrallinien ausübt". Die Idee einer chemischen Analyse durch Spektralbeobachtungen, schon seit Jahren angestrebt, erhielt erst durch diese Versuche ihre vollständige Begründung.

Die Bunsen'sche Gasflamme, und namentlich der innere blaue Kegel, giebt für sich auch ein Spektrum, welches aus mehreren Linien besteht, und von Swan beschrieben wurde; es gleicht den Spektren, welche durch Verbrennung anderer Kohlenwasserstoffe erhalten werden können. Man wird demnach also auch nie im Stande sein, die zahlreichen Verbindungen des Kohlenstoffs mit dem Wasserstoff durch Spektralbeobachtungen von einander zu unterscheiden, da die Resultate, welche man bei diesen erhält, sich stets nur auf die Qualität der Stoffe beziehen, die verschiedenen quantitativen Verhältnisse derselben in den chemischen Verbindungen jedoch nicht erkannt

werden können. Es ist daher von doppeltem Interesse, daß zwei andere Forscher, Plücker und Morren, gezeigt haben, wie auf optischem Wege eine Unterscheidung der Kohlenwasserstoffe erreicht werden kann. Sie schlossen die zu untersuchenden, gasförmigen Verbindungen in sehr verdünntem Zustande in Glasröhren mit Verengerungen und Erweiterungen ein, und machten dieselben durch Elektricität leuchtend, sie wandten das Prinzip der Geißler'schen Röhren an. In die Röhren waren zu beiden Enden Drähte aus Platin oder Aluminium eingeschmolzen; wurde nun ein elektrischer Strom durchgeleitet, so konnte bei den einzelnen Gasen eine solche Verschiedenheit im Lichtglanz, Farbe und Schichtung in den engeren und weiteren Theilen der Röhren beobachtet werden, daß eine Unterscheidung jener leicht gemacht werden konnte. Die Versuche bezogen sich vorläufig auf sehr reines Wasserstoffgas, auf den einfach und doppelt Kohlenwasserstoff und auf ganz reines Acetylen. Es ist zu erwarten, daß durch eine Fortsetzung dieser interessanten Versuche auch noch für viele andere Kohlenwasserstoffe ebenso charakteristische Eigenthümlichkeiten zum Erkennen derselben werden nachgewiesen werden.

Doch auch die Anwendung des Bunsen'schen Gasbrenners erlaubt nicht alle Stoffe zu verflüchtigen; die schweren Metalle und deren Verbindungen sind in der Temperatur desselben entweder nicht flüchtig, oder letztere werden durch die entstehenden Verbrennungsgase zersetzt. Um daher die Spektra der schweren Metalle zu erhalten, muß die Hitze des elektrischen Funkens benutzt werden, welche von den bekannten Metallen alle mit Ausnahme des Platins zu verdampfen im Stande ist. Will man Metallverbindungen durch den Funken verflüchtigen, so bestreicht man die Elektroden, zwischen welchen dieser überspringt, mit jenen.

Außer der Temperatur des Dampfes ist aber auch die Farbe und Breite der Linien auf das Spektrum von Einfluß; wie schon beim Sonnenspektrum erörtert wurde, ist die Lichtintensität der einzelnen Farben eine verschiedene, ebenso besitzt auch unser Auge für jede Farbe einen anderen Grad der Empfindlichkeit; es ist daher erklärlich, daß gewisse Linien nur dann im Spektrum erscheinen, wenn für die Darstellung derselben sich die günstigsten Verhältnisse vereinigt haben; als solche müssen eine höhere Temperatur, eine größere Menge Dampfes, und die Leichtflüchtigkeit der angewandten chemischen Verbindung bezeichnet werden. Breitere und scharf begrenzte Linien entziehen sich weniger der Beobachtung als schmale oder solche, die nur als verwaschene Streifen erscheinen. Um diesen Verhältnissen Rechnung zu tragen, haben Kirchhoff und Bunsen die Linien jedes Spektrums in eine Reihe gestellt, und zwar je nach dem Grade der Leichtigkeit, mit welcher sie erscheinen; sie haben die Linien mit den ersten Buchstaben des griechischen Alphabetes α, β, γ, δ bezeichnet, so daß unter einer α Linie die empfindlichste und am meisten charakteristische zu verstehen ist. Die Helligkeit der einzelnen Linien eines Spektrums ist mit der Zunahme der Temperatur des glühenden Dampfes nicht proportional; es kann zwar im allgemeinen der Satz aufgestellt werden, daß mit der Zunahme der Temperatur die Lichtstärke der Linien wächst, aber diese Zunahme ist für die einzelnen Linien verschieden, denn die schon bei niedrigerer Temperatur hell leuchtenden Linien nehmen bei Steigerung derselben in viel geringerem Grade an Lichtstärke zu als die weniger leuchtenden; ja es giebt sogar Ausnahmen, die mit dem oben ausgesprochenen Satze in Widerspruch stehen.

Stellt man ein Kalciumspektrum dadurch dar, daß man eine flüchtige Kalciumverbindung in die nicht leuchtende Flamme eines Gasbrenners bringt, so kann man in diesem jene Linien beobachten, die in der beigehefteten Spektraltafel eingezeichnet sind. Wendet man aber zur Darstellung desselben die Hitze des elektrischen Funkens an, so zeigen sich andere Linien, die früher gar nicht gesehen wurden, als die hellsten, wiewohl auch die Linien, die das erstere Spektrum enthielt, nicht fehlen. Das Angeführte mag genügen, um aufmerksam zu machen, daß es bei Spektralbeobachtungen von Wichtigkeit ist, anzugeben, welches Mittels man sich bediente, die untersuchten Stoffe in Dampf zu verwandeln, da wie eben gezeigt wurde, das Spektrum ein und desselben Stoffes eine solche Verschiedenheit besitzen kann, daß eine Irrung leicht möglich wäre.

Mag diese Verschiedenheit aber noch so groß sein, so lehrt doch die Beobachtung, daß die Lage der Linien, so oft sie erscheinen, unter allen Umständen stets dieselbe ist, und einzig und allein nur von der chemischen Natur des Dampfes abhängt; es ist hierdurch neuerdings der Beweis für die wirkliche materielle Verschiedenheit der Grundstoffe gegeben; und sollten sich bei einem neu entdeckten Zweifel erheben, oder die Möglichkeit der Identität mit einem schon bekannten vermuthet werden, so kann die Spektralanalyse ein endgültiges Urtheil in einem solchen Falle abgeben. Wir erblicken in der Eigenthümlichkeit eines Spektrums ebenso ein Kriterium für einen Grundstoff, als in den bestimmten Gewichtsverhältnissen, nach welchen er sich mit anderen verbindet.

Nicht unerheblich ist der Einfluß, welchen die Breite des Spaltes, durch welchen das durch das Prisma zu analysirende Licht eindringt, auf die Gestaltung des Spektrums ausübt. Sendet das Licht nur Strahlen von gleicher Brechbarkeit aus, so erscheint im Spektrum auch nur eine Linie, deren Breite von der des Spaltes abhängt; die eintretenden Lichtstrahlen erleiden nur die ihrer Brechbarkeit zukommende Ablenkung. Schmälere Linien, als die bei den Versuchen angewandte Spaltbreite, hat man nie beobachtet. Aendert man die Breite der Spalte, so ändert sich auch im gleichen Verhältnisse die Breite der Linie, ohne daß diese an Lichtintensität etwas verliert oder gewinnt. Linien, welche eine größere Breite haben als die der Spalte, werden häufig beobachtet; man kann sie auf zweifache Art erklären.

Sendet eine Lichtquelle Strahlen aus, deren Brechungskoefficienten innerhalb enger Grenzen kontinuirlich wachsen oder abnehmen, so werden sie nach der Ablenkung durch das Prisma einen diesen Grenzen entsprechenden kleinen Theil eines kontinuirlichen Spektrums, nämlich einen breiten Streifen, darstellen; auch dieser wird mit der Verengerung oder Erweiterung der Spalte schmäler oder breiter werden. Sind die den breiten Streifen bildenden Lichtstrahlen nicht in gleicher Quantität vorhanden, oder mit anderen Worten, hängt ihre Emission von der Höhe der Temperatur oder anderen Umständen in ungleichmäßiger Weise ab, so kann ein solcher breiter Streifen in seinen verschiedenen Theilen ungleiche Helligkeit besitzen, oder, wie dies häufig zu beobachten ist, auf einer oder auf beiden Seiten ohne scharfe Begrenzung enden. Es ist ohne Zweifel, daß es Linien giebt, die den eben entwickelten Verhältnissen ihre Entstehung verdanken.

Eine andere Erklärung der breiten Linien ist durch ihr Verhalten bei Verengerung des Spaltes gegeben; dieselben lösen sich in mehrere Streifen von normaler Breite, d. i. Spaltbreite, auf. Sie sind daher als Uebereinanderlagerungen mehrerer Linien zu betrachten, die bei größerer Spaltbreite mit ihren Rändern sich gegenseitig decken; durch das Aufeinanderfallen von verschiedenfarbigen Rändern entstehen dann die eigenthümlichen Schattirungen, welche viele breite Linien zeigen. Das was durch Verengerung der Spalte bewirkt werden kann, geschieht auch bei größerer Ablenkung der Strahlen, wenn dieselben durch mehrere Prismen gehen. Ein Beispiel hiervon giebt die gelbe Natriumlinie, welche in zwei Linien zerfällt, die durch einen dunklen Zwischenraum von einander geschieden sind.

Die schon erwähnte Eigenthümlichkeit, daß Metallverbindungen nur immer das Spektrum des Metalles, welches sie enthalten, aber nicht auch zugleich die der nichtmetallischen Stoffe, welche mit diesem chemisch verbunden sind, geben, hat zur Folge, daß die spektralanalytische Untersuchung über jene keinen Aufschluß giebt; ebensowenig kann die Verbindungsstufe, nämlich das quantitative Verhältniß beider, beurtheilt werden. Diese Beschränkung wird aber dadurch wieder ausgeglichen, daß die Verbindung mehrerer Metalle oder ein Gemenge verschiedener Metallverbindungen allsogleich erkannt werden kann, da alle Linien, welche den verschiedenen Metallen zusammen zukommen, gleichzeitig im Spektrum erscheinen. Der geübte Beobachter, der weiß, welchem Metalle jede einzelne Linie des gemischten Spektrums zukommt, kann mit Leichtigkeit in dem Liniengemenge das Vorhandensein mehrerer Metalle erkennen. Hierin liegt gewiß der größte Werth, den diese Methode für die chemische Analyse hat. Derjenige, der die zeitraubenden Operationen kennt, welche der Chemiker manchmal durchführen muß, um einen bestimmten Stoff neben mehreren andern nachzuweisen, der wird auch den großen Vortheil, welchen die Spektralanalyse in dieser Richtung gewährt, in seinem vollen Umfange zu schätzen wissen. Beispielsweise möge nur erwähnt werden, daß die Nachweisung von einem Gehalte an Lithion in Mineralwässern stets umständliche Arbeiten und eine große Menge Materiales zur Untersuchung erforderte; auf spektralanalytischem Wege genügt es oft schon, einen Tropfen des eingedampften Wassers in einer Flamme zu verflüchtigen, um Lithion durch den Spektralapparat mit größter Deutlichkeit zu erkennen.

Wenn die Gegenwart anderer Metalle der Erkennung eines einzelnen nicht hinderlich ist, so ergiebt sich von selbst, daß die Linien der einzelnen Spektra, wenn sie gleichzeitig erscheinen, nicht zusammenfallen, und sich gegenseitig nicht decken. Die Erfahrung hat gelehrt, daß es auch wirklich so sei, und es ist gegenwärtig noch kein Fall mit Bestimmtheit konstatirt, daß zwei Linien die verschiedenen Spektren angehören, zusammenfallen. Kirchhoff berichtet, daß er das Zusammentreffen einer Eisen- und einer Kalciumlinie in nächster Nähe der Fraunhofer'schen Linie E, und das einer Eisenlinie mit einer Magnesiumlinie zwischen E und F bei b beobachtet habe, spricht sich jedoch darüber nicht entschieden aus, sondern giebt der Vermuthung Raum, daß dieses Zusammenfallen nur ein scheinbares sei, und bei größerer Darstellung des Spektrums sich als solches erweisen werde. Aber selbst dann, wenn auch zwei Linien, die verschiedenen Spektren angehören, zusammenfallen sollten, ist das Erkennen beider Stoffe

doch möglich, da ja in den meisten Fällen mehrere Linien für ein Spektrum charakteristisch sind.

Wie leicht man mehrere Spektra gleichzeitig beobachten und beurtheilen kann, mag folgender Versuch lehren. Befeuchtet man die Asche einer Cigarre mit etwas Salzsäure, und bringt dieselbe sodann in eine Flamme, so kann man ein Spektrum erhalten, in welchem die dem Natrium, Kalium, Lithium und Kalcium zukommenden Linien leicht und deutlich unterschieden werden können, eine Untersuchung, die in wenigen Minuten das Resultat giebt, was nach anderen analytischen Methoden erst in ebenso vielen Tagen zu erreichen war.

Da die verschiedenen Metallverbindungen nicht gleich leicht verflüchtigt werden können, so wird, wenn ein Gemenge von diesen in eine heiße Flamme gebracht wird, die flüchtigste Verbindung zuerst, die am schwersten flüchtige zuletzt verdampfen; es muß daher gleich beim Einbringen der zu untersuchenden Substanz in die Flamme das Spektrum beobachtet werden, da sonst eine Verbindung, welche sehr schnell verdampft, übersehen werden könnte. Die Metallverbindungen, welche überhaupt in einer Bunsen'schen Gasflamme verflüchtigt werden können, lassen sich je nach dem Grade ihrer Flüchtigkeit in eine Reihe bringen. Bei Anwendung von Chlorverbindungen ergiebt sich für die Metalle der Alkalien und alkalischen Erden, daß das Chlornatrium am leichtesten, sodann Chlorlithium, Chlorkalium, Chlorbaryum, Chlorkalcium und am schwersten das Chlorstrontium sich verflüchtigen.

Die aufmerksame Vergleichung der Spektra der einzelnen Grundstoffe führt weiters auch noch zu einer anderen Eigenthümlichkeit, welche nicht unerwähnt bleiben darf. Dieselbe besteht darin, daß manche Spektra von sehr vielen Linien gebildet werden, während andere nur aus wenigen bestehen; es kommen sogar die Fälle vor, daß das ganze Spektrum durch eine einzige Linie repräsentirt wird. Das Spektrum des Eisens zeigt einige sechzig Linien in den verschiedensten Farben, die anderer Metalle haben meistens weniger Linien und nicht von allen Farben. So hat Baryum keine blauen und Strontium keine grünen Linien, violette fehlen beiden. Das Spektrum des Lithiums besteht nur aus zwei Linien, einer rothen und einer orangegelben, das des Indiums aus einer blauen und einer violetten. Der glühende Dampf von Natriumverbindungen, welcher wachsgelb gefärbt ist, liefert ein Spektrum mit einer einzigen gelben, der von Thalliumverbindungen, welcher eine grüne Farbe hat, eines mit einer einzigen grünen Linie. Aus diesen Thatsachen lassen sich zweierlei Schlußfolgerungen ziehen. Erstens, daß die Farbe, welche einer Flamme durch ein Metall oder eine Metallverbindung ertheilt wird, mit der Farbe der am meisten charakteristischen Linie gewöhnlich übereinstimmt, und zweitens, daß die glühenden Dämpfe mancher Grundstoffe, wie z. B. der des Eisens, Licht von verschiedener Brechbarkeit, andere Dämpfe jedoch, wie die von Natrium und Thallium, nur Licht von einem bestimmten Grade der Brechbarkeit aussenden. Das Licht der ersteren besteht aus verschiedenartigen Strahlen, das der letzteren aus gleichartigen.

Von welch tief eingreifender Wirkung die Spektralanalyse auf die Entwicklung der Chemie ist, mag am besten daraus beurtheilt werden, daß durch diese in dem kurzen Zeitraume von vier Jahren vier Grundstoffe

entdeckt wurden. Erscheinen in einem Spektrum eine oder mehrere Linien, welche keinem bekannten Stoffe zukommen, so ist die Vermuthung, daß in der zur Darstellung des Spektrums angewandten Substanz ein neuer Stoff enthalten sei, eine begründete, und die Versuche, die in solchen Fällen gemacht wurden, um denselben zu isoliren, waren gewöhnlich von dem erwünschten Erfolge begleitet.

Aber selbst noch weiter scheint die Spektralanalyse zu führen, indem sie ein Mittel an die Hand giebt, um sich von der wirklichen Einfachheit eines Grundstoffes zu überzeugen. Nehmen wir an, ein Metall, welches wir bis jetzt für einen einfachen Stoff hielten, sei eine Verbindung oder ein Gemenge zweier Stoffe, so muß offenbar das Spektrum desselben die den beiden zukommenden Linien zeigen. Mit der Verschiedenheit zweier Stoffe ist aber sehr wahrscheinlich auch die ihrer physikalischen Eigenschaften, unter welchen in einem solchen Falle der Grad der Flüchtigkeit von besonderem Werthe ist, verbunden. Die Linien, welche dem leichter flüchtigen Stoffe zukommen, werden zuerst erscheinen, und auch früher verschwinden, als die des schwerer flüchtigen, und ebenso wird die Menge des glühenden Dampfes jedes einzelnen Stoffes auf das Spektrum von Einfluß sein; v. Waltenhofen hat bei Untersuchung der Spektra sehr verdünnter Gase, die durch den elektrischen Strom leuchtend gemacht wurden, beobachtet, daß das Stickstoffgas nicht dem von Plücker aufgestellten Gesetze, nach welchem bei zunehmender Verdünnung zuerst die weniger brechbaren Linien und dann erst die brechbareren aus dem Spektrum verschwinden, Folge leistet, sondern, daß bei diesem die brechbarsten Linien, nämlich die violetten früher erlöschen als die blauen und grünen, wiewohl diese weniger brechbar sind. Waltenhofen fand sich hierdurch veranlaßt auszusprechen: daß die Entdeckung dieser Thatsache die Zusammengesetztheit des Stickstoffgases sehr wahrscheinlich mache. Jedenfalls wird diese interessante Beobachtung Anlaß geben, der Ursache dieses ungewöhnlichen Verhaltens nachzuforschen.

Neben den positiven Ergebnissen der Spektralanalyse sind aber auch die negativen in Anschlag zu bringen; die Abwesenheit gewisser Linien muß ja doch ebenso zu dem Schlusse berechtigen, daß ein Stoff nicht vorhanden sei, als das Erscheinen derselben als Beweis für die Gegenwart eines solchen genommen wird.

Die Spektra der chemischen Elemente.

Im Folgenden sollen die Spektra der Grundstoffe beschrieben werden, welche bei Anwendung einer Bunsen'schen Gasflamme oder einer Wasserstoffgasflamme erhalten werden können Schon im vorhergehenden Abschnitte wurde hervorgehoben, daß die Spektra der Metalle mit denen der entsprechenden Metallverbindungen übereinstimmen, und daß die nichtmetallischen Stoffe, welche in diesen enthalten sind, auf jene keinen Einfluß nehmen, daß es vielmehr einerlei ist, ob die glühenden Dämpfe von Metallen

oder die ihrer chemischen Verbindungen durch das Prisma analysirt werden. Unter diesen Voraussetzungen können charakteristische Spektra erhalten werden für folgende Elemente: Cäsium, Rubidium, Kalium, Natrium, Litthium, Strontium, Kalcium, Baryum, Thallium und Indium.

Um sich von den Spektren leichter eine Vorstellung machen, und um die Lage der einzelnen Linien bestimmt angeben zu können, diene die beigeheftete Spektraltafel. Dieselbe enthält das Sonnenspektrum in Farbendruck ausgeführt mit den vorzüglichsten Fraunhofer'schen Linien, sodann folgen die Spektra der eben aufgezählten Metalle; die Linien sind weiß auf dunklem Grunde ausgeführt, und in Beziehung auf relative Breite und Art der Begrenzung möglichst naturgetreu dargestellt; die Farbe der Linien ergiebt sich aus dem Vergleiche mit den gleichgelegenen Theilen des Sonnenspektrums. Die Tafel wurde nach den von Kirchhoff und Bunsen zuerst veröffentlichten gezeichnet, und durch die Spektra des Thallium und Indium vermehrt. Der Kürze halber wurden im Texte für die Metalle die aus den Anfangsbuchstaben derselben bestehenden chemischen Zeichen gebraucht, und die Linien wie üblich je nach dem Grade ihrer Wichtigkeit für das Spektrum, d. h. je nach ihrer Lichtstärke, mit den Buchstaben des griechischen Alphabetes α, β, γ, δ u. s. f. bezeichnet.

Cäsium.

Das Spektrum des Cäsium, welches durch die verschiedenen Verbindungen dieses Metalles, sogar durch das phosphorsaure und kieselsaure Cäsiumoxyd erhalten werden kann, besteht aus elf Linien; von diesen sind nur nur drei charakteristisch, nämlich Cs α und Cs β zwei blaue Linien, welche sich sehr nahe und ungefähr in der Mitte zwischen den Fraunhofer'schen Linien F und G liegen, und Cs γ, welche zwischen C und D liegt. Die übrigen acht gelben und grünen Linien kommen erst bei großer Lichtstärke des Spektrums zum Vorschein. Im mittleren Theil desselben ist ein Lichtschein, wie von einem kontinuirlichen Spektrum herrührend, wahrnehmbar, und wahrscheinlich auch Ursache, warum die gelben und grünen Linien bei geringer Lichtintensität nicht gesehen werden können. Die Reaktion ist sehr empfindlich, indem $\frac{1}{20000}$ eines Milligrammes Chlorcäsium die zwei blauen Linien noch deutlich erkennen läßt. Die Gegenwart andererer Stoffe beeinträchtigt diese Empfindlichkeit. Reines Chlorcäsium färbt die Flamme licht röthlichblau. Dieser Grundstoff wurde von Kirchhoff und Bunsen in der Mutterlauge der Dürkheimer Soolquellen, in welchen er in äußerst geringer Menge vorkommt, durch Spektralanalyse entdeckt. Aus 884 Zollcentner Soolwasser konnten nur 7,272 Gramme Chlorcäsium erhalten werden (500 Gramme = 1 Zollpfund). Mit Bezug auf den von den Alten für das Blau des heiteren Himmels gebrauchten Ausdruck, wurde diesem Stoffe wegen seiner zwei hellen blauen Linien der Name Cäsium gegeben.

Rubidium.

Das Rubidiumspektrum besteht aus zehn Linien; von diesen liegen zwei rothe Rb γ und Rb δ jenseits der Fraunhofer'schen Linie A, und zwar mit dem Sonnenspektrum verglichen an einem Orte, wo dieses seine äußerste Grenze schon erreicht hat; die Linien Rb α und Rb β sind violett

und liegen zwischen G und H. Die anderen sechs gelben und grünen Linien, welche wegen des kontinuirlichen Spektrums, das die Mitte desselben einnimmt, und lichtstärker als beim Cäsium ist, gewöhnlich nicht sichtbar sind, kommen nur bei sehr reiner Substanz und großer Lichtintensität zum Vorschein. Die Reaktion ist weniger empfindlich als die des Cäsium, da nur mehr $\frac{1}{5000}$ Milligramm Chlorrubidium die zwei violetten Linien mit Deutlichkeit erkennen läßt. Alle Rubidiumsalze sind flüchtig, und färben, wenn sie rein sind, die Flamme röthlichblau. Salpetersaures, chlorsaures und überchlorsaures Rubidiumoxyd, sowie Chlorrubidium, geben ihrer großen Flüchtigkeit wegen das intensivste Spektrum. Auch das Rubidium wurde durch Spektralanalyse von Kirchhoff und Bunsen entdeckt; sie fanden dasselbe im Dürkheimer Soolwasser, im Lepidolith von Rozena bei Hradisko in Mähren, sowie in einem von Sachsen. Wegen der zwei dunkelrothen Linien erhielt dieses Element den Namen Rubidium.

Kalium.

Das Kaliumspektrum besteht aus d r e i Linien, die mit Fraunhofer'schen Linien zusammenfallen. Die rothe Ka α fällt mit A, die nur bei intensivster Hitze sichtbare Ka γ mit B zusammen; die Linie Ka β, welche einer schwächeren Fraunhofer'schen Linie entspricht, liegt im äußersten Violett in der Nähe von H. Es ist bis jetzt keine Spektrallinie beobachtet worden, welche der violetten Grenze näher liegen würde, als diese. Die hervorragendste Eigenthümlichkeit dieses Spektrums, daß dasselbe in seinem mittleren Theile von gelb bis blau, ohngefähr die halbe Länge des ganzen einnehmend, ein kontinuirliches zeigt, viel lebhafter gefärbt als bei dem des Cäsium und Rubidium, bei welchen dieselbe Erscheinung auftritt, ist bis jetzt noch nicht aufgeklärt. Die Reaktion ist weniger empfindlich als die auf Cäsium und Rubidium, indem nur $\frac{1}{1000}$ Milligramm chlorsaures Kali die Linien noch hervorbringt. Rechnet man diese Quantität auf Chlorkalium, so findet man, daß beiläufig $\frac{1}{2000}$ von diesem die Reaktion bewirkt, daß also die Empfindlichkeit derselben zehnmal geringer ist als beim Cäsium. Reines Chlorkalium färbt die Flamme blauviolett.

Natrium.

Der glühende Dampf von Natrium oder Natriumverbindungen färbt die Flamme gelb, und liefert ein Spektrum, welches aus e i n e r einzigen gelben Linie Na α, die mit der Fraunhofer'schen Linie D zusammenfällt, besteht. Diese Linie ist außerordentlich lichtstark und glänzend, um dieselbe können Spuren eines kontinuirlichen Spektrums wahrgenommen werden. Benutzt man zur Darstellung des Spektrums zwei Prismen, so erkennt man die Linie Na α als Doppellinie. Weil das Spektrum nur aus einer Linie besteht, so folgt, daß die Lichtstrahlen der mit Natriumdämpfen gefärbten Flamme nur einen Grad von Brechbarkeit besitzen, daß sie homogenes Licht verbreiten, und daher monochromatisch sind. An Empfindlichkeit übertrifft die Reaktion auf Natrium die auf alle anderen Stoffe; $\frac{1}{3000000}$ Milligramm chlorsaures Natron können durch das Spektrum noch deutlich wahrgenommen werden, ja es ist nahezu unmöglich, andere Substanzen so

rein zu machen, daß sie die Natriumreaktion nicht geben, da der in der Luft schwebende feinste Staub stets Kochsalz, d. i. Chlornatrium, enthält.

Lithium.

Das Lithiumspektrum wird von einer prachtvoll rothgefärbten Linie Li α, die zwischen den Fraunhofer'schen Linien B und C liegt, und von einer matt orangegefärbten, nur bei größerer Menge von Substanz, und schwacher Natriumreaktion wahrnehmbaren, zwischen C und D liegenden Linie Li β gebildet. Es enthält also nur zwei Linien. Reines Chlorlithium färbt die Flamme karmoisinroth; die Anwesenheit von Natriumverbindungen kann diese Färbung gänzlich verdecken. Durch den Spektralapparat kann aber in einer Mischung von Chlornatrium und Chlorlithium, in welcher von letzterem nur $\frac{1}{1000}$ enthalten ist, dieses noch deutlich erkannt werden. Die Empfindlichkeit der Reaktion steht der des Natrium nach, ist aber im Vergleiche mit anderen Stoffen noch immer sehr bedeutend, da weniger als $\frac{1}{100000}$ Milligr. kohlensaures Lithion noch deutlich wahrgenommen werden können.

Strontium.

Das Strontiumspektrum besteht aus acht Linien, von welchen vier charakteristisch sind. Sr α ist orange, Sr β und Sr γ sind roth, letztere Linie fällt mit der Fraunhofer'schen Linie C zusammen, Sr δ ist blau und liegt zwischen F und G ganz in der Nähe der zwei blauen Cäsiumlinien. Von den übrigen vier Linien liegen drei zwischen Sr α und Sr γ, und eine neben Sr β gegen das rothe Ende des Spektrums. Da die gelben und rothen Linien dieses Spektrums Aehnlichkeit mit den beim Kalcium und Baryum vorkommenden haben, so soll erwähnt werden, daß das Strontiumspektrum keine grüne Linie besitzt, während solche bei den zuletzt genannten zwei Metallen vorkommen. Die Lithiumlinie Li α, welche mit Sr β zusammenzufallen scheint, hindert, wenn sie gleichzeitig vorkommt, die Beobachtung nicht; sie bildet sodann eine scharf begrenzte Linie auf dem breiten rothen Strontiumstreifen Sr β. Die Strontiumverbindungen sind schwerer flüchtig als die Verbindungen anderer Metalle, und ertheilen der Flamme, wenn sie rein und flüchtig sind, eine purpurrothe Farbe. Am besten kann man das Spektrum durch Chlorstrontium erhalten; kohlensaures Strontium muß man vor dem Einbringen in die Flamme mit Salzsäure befeuchten; schwefelsaures Strontium ist nicht flüchtig. Sind in der zu untersuchenden Substanz noch andere leichter flüchtige Metallverbindungen enthalten, so werden, wenn dieselbe als Perle in die Flamme gebracht wird, zuerst die Spektra der leichter flüchtigen Metallverbindungen erscheinen, und dann erst das des Strontiums auftreten. Die Reaktion auf Strontium muß als eine sehr empfindliche bezeichnet werden, da $\frac{6}{100000}$ Milligr. Chlorstrontium noch immer ein ganz deutliches Spektrum geben.

Kalcium.

Reine flüchtige Kalciumverbindungen färben die Flamme röthlichgelb, und geben ein Spektrum, welches aus neun Linien besteht. Charakteristisch

ist ein breites orangerothes Band Ca α und ein breiter grüner Streifen Ca β, der zwischen den Fraunhofer'schen Linien D und E liegt. Zwischen diesen zwei Linien liegen fünf andere zur Erkennung des Kalcium wenig geeignete Linien, dieselben sind, besonders wenn auch Natrium zugegen ist, nur sehr schwach sichtbar. Die achte Linie liegt neben Ca α gegen das Rothe hin, und ist nur auf dieser Seite scharf begrenzt. Die neunte Linie ist violett, und scheint mit den zwei violetten Rubidiumlinien Rb α und Rb β zusammenzufallen; sie ist nur dann sichtbar, wenn eine sehr leichtflüchtige Kalciumverbindung zur Herstellung des Spektrums angewendet wird, und die Flamme eine größere Menge Dampf enthält. Die Reaktion ist ebenso empfindlich als die auf Strontium; $\frac{6}{100000}$ Milligr. Chlorkalcium können noch leicht erkannt werden.

Schwefelsaurer und kohlensaurer Kalk geben die Reaktion erst, nachdem sich die Säuren verflüchtigt haben, oder doch wenigstens die genannten Salze basisch geworden sind. Kommen Kalcium und Strontium in einer Substanz vor, so können beide Stoffe leicht neben einander erkannt werden, da in diesem Falle die grüne Ca β für Kalcium, und die blaue Sr δ für Strontium charakteristisch sind, und überdies die beiden orangerothen Linien Ca α und Sr α neben einander erscheinen.

Baryum.

Das Baryumspektrum wird von fünfzehn Linien gebildet, von welchen zwei roth, eine orange, vier gelb, sechs grün und zwei grünlichblau sind. Von diesen sind nur drei grüne charakteristisch; die Ba α ein breites grünes Band liegt zwischen den Fraunhofer'schen Linien E und b, die Ba β neben b gegen das Blaue hin, und die Ba γ, welche schon viel weniger empfindlich ist, zwischen D und E in derselben Lage wie Ca β; zwischen Ba α und Ba γ liegen noch drei grüne Linien, von welchen zwei mit Ba δ und Ba η bezeichnet sind; zwischen b und F liegen außer Ba β noch zwei sehr matt gefärbte grünlichblaue Streifen, eine orangegelb gefärbte Linie Ba ε liegt sehr nahe bei Sr α. Zwischen der orangegelben und der grünen Ba γ Linie liegen vier gelbe, die den fünf gelben Linien des Kalciumspektrum ganz ähnlich sehen, von der orangerothen gegen das Rothe hin liegen zwei schwache roth gefärbte Streifen. Entscheidend für das Baryumspektrum bei Gegenwart anderer Stoffe sind die zwei grünen Linien Ba α und Ba β, da sich dieselben durch ihre Lage von der grünen Ca β leicht unterscheiden lassen. Die Baryumverbindungen färben die Flamme grün, und sind leichter flüchtig als die des Strontium. Chlorbaryum, Brombaryum, Jodbaryum, Fluorbaryum, Barythydrat, kohlensaurer und schwefelsaurer Baryt, ja selbst Barytsilikate mit Salzsäure befeuchtet, geben deutliche Spektra. An Empfindlichkeit gleicht die Baryumreaktion der des Kalium, indem $\frac{1}{1000}$ Milligr. chlorsaurer Baryt noch die einzelnen Linien des Spektrums erkennen läßt.

Das Baryumspektrum zeigt eine merkwürdige und bisher unerklärte Eigenthümlichkeit; Beobachtungen haben gelehrt, daß die Helligkeit der schwächeren Linien eines Spektrums mit der Lichtstärke, d. h. mit der Temperatur des glühenden Dampfes und mit der Menge desselben zunimmt; diese Zunahme ist für lichtschwächere Linien größer als für lichtstärkere, aber sie ist nie so groß, daß diese von jenen in der angeführten Eigenschaft

übertroffen werden. Eine Ausnahme von dieser allgemein gültigen Regel macht die schwache grün gefärbte Linie Ba η, welche bei geringer Lichtstärke des Spektrum kaum sichtbar ist, während Ba γ noch ganz deutlich erscheint; bei großer Lichtstärke nimmt jedoch Ba η so an Lichtintensität zu, daß sie viel heller als Ba γ wird.

Thallium.

Das Thalliumspektrum besteht, wie das des Natrium, nur aus einer einzigen Linie Tl α, welche lebhaft grün gefärbt und sehr scharf begrenzt ist, und zwischen D und E nahe bei letzterer Linie liegt. Da die meisten Thalliumpräparate leicht flüchtig sind, so ist dieses Spektrum auch leicht zu erhalten. Wenn in einer Perle von Chlorkalium auch nur $\frac{1}{1000}$ einer Thalliumverbindung enthalten ist, so kann die Reaktion noch deutlich wahrgenommen werden. Ein sehr großer Ueberschuß von Natriumverbindungen kann die grüne Linie unsichtbar machen; in einem solchen Falle befeuchtet man die zu untersuchende Substanz mit Wasser oder verdünnter Salzsäure und hält sie sodann in die Flamme, das leichter flüchtige Chlorthallium wird zuerst verdampfen, und der Beobachter wird gleich zu Anfang die grüne Linie deutlich aufblitzen sehen, während dieselbe etwas später, wenn die Flamme schon sehr viel Natriumdämpfe enthält, nicht mehr sichtbar ist. Thalliumverbindungen färben die Flamme grün. Dieses Metall wurde von Crookes im Bleikammerschlamme entdeckt; es findet sich in Eisen- und Kupferkiesen, und verflüchtigt sich, wenn diese behufs der Darstellung von schwefeliger Säure verbrannt werden, mit derselben; seinen Namen erhielt es von dem mit jungen Pflanzentrieben ähnlichen Grün seiner Spektrallinie.

Indium.

Indiumverbindungen färben die Flamme lebhaft violett. Das Spektrum besteht aus zwei blauen Linien In α und In β, von welchen die erstere sehr nahe an der Cs α gegen das Violette hin, und die zweite etwa in der Mitte zwischen Rb α und Ka β liegt. Am glänzendsten erscheint das Spektrum bei Anwendung des leicht flüchtigen Chlorindium, doch wird dasselbe mit allen anderen Indiumverbindungen ebenfalls erhalten. Dieses Metall wurde neuestens von Reich und Richter in der Freiberger Zinkblende durch Spektralanalyse aufgefunden.

Die Metalle, deren Spektra soeben beschrieben wurden, bilden nur den fünften Theil der bis jetzt bekannten; ihrer chemischen Natur nach gehören die ersten fünf in die Gruppe der Alkalien, die drei nächsten in die der alkalischen Erdmetalle, Thallium und Indium sind noch nicht soweit untersucht, daß sie mit Bestimmtheit einer Gruppe zugewiesen werden können. Die Spektra aller übrigen Metalle lassen sich auf die eben beschriebene Weise, nämlich durch Verdampfen ihrer Verbindungen mit Hülfe des Bunsen'schen Gasbrenners nicht darstellen. Es ist eine viel höhere Temperatur erforderlich, um ihre Verbindungen in Dampfzustand zu versetzen, und diese kann nur, wie schon wiederholt erwähnt, durch den elektrischen Strom erzielt werden. Um einen solchen von genügender Stärke zu erhalten, ist eine kräftige Batterie und ein Ruhmkorff'scher Induktions-

apparat erforderlich; hierdurch verliert aber die spektralanalytische Untersuchungsmethode ihre leichte Ausführbarkeit, da nicht jedem Analytiker derlei Apparate zur Verfügung stehen. Andererseits sind die Versuche über die Metallspektra durch den elektrischen Funken noch nicht endgültig abgeschlossen, daher auch hier auf eine nähere Beschreibung derselben nicht eingegangen werden kann. Weil aber der elektrische Strom ein in allen Fällen anwendbares Mittel abgiebt, um glühende Dämpfe von Metallen zu erhalten, oder Gase glühend und leuchtend zu machen, so mag es nicht überflüssig sein, einiges hierüber anzuführen.

Will man die Spektra von Metallen darstellen, so läßt man den Strom von einer Spitze zur anderen überspringen, die Entfernung derselben soll höchstens drei Millimeter betragen; hierdurch werden kleinste Theilchen der Metallspitzen (Elektroden) mitgerissen, und durch die Hitze in glühenden Dampf verwandelt, die Schwingungen dieser glühenden kleinsten Theilchen bringen das Licht des elektrischen Funkens hervor, welches sodann durch das Prisma analysirt werden kann.

Um Gasspektra zu erhalten, bedient man sich eines eigenen Apparates, der nach seinem ersten Verfertiger Geißler benannt wurde; derselbe ist nichts anderes als eine Glasröhre, die auf einer Seite eine kugelförmige Erweiterung hat und auf der anderen Seite in einen etwa einen Zoll weiten Cylinder ausläuft, diese zwei Theile sind durch eine enge Glasröhre, wie sie zu Thermometern gebraucht werden, verbunden; an beiden Enden sind Drähte aus Platin oder Aluminium als Elektroden eingeschmolzen. Zum Versuche wird nun die Röhre mit irgend einem Gase gefüllt, und durch die Luftpumpe wieder so weit entleert, daß der Druck der Gastheilchen auf die inneren Wände der Röhre oft nur den sechs- bis siebenhundertsten Theil des normalen Luftdruckes von 28 Pariser Zollen beträgt. Sodann wird die Oeffnung, welche zum Füllen und Auspumpen des Gases diente, zugeschmolzen. Der Widerstand, welchen so stark verdünnte Gase der Leitung des elektrischen Stromes entgegensetzen, ist ein äußerst geringer, die Röhre kann eine Länge von vielen Fußen haben, ohne daß die Leitungsfähigkeit derselben aufhört. Die Elektroden werden hierbei nicht so stark erhitzt, daß ein Verdampfen derselben stattfinden könnte, sie verhalten sich überhaupt indifferent, wenn nicht das eingeschlossene Gas für sich auf dieselben eine chemische Wirkung ausübt. Die Gastheilchen hingegen werden in eine außerordentlich hohe Temperatur versetzt; daß diese eine sehr bedeutende sein müsse, ergiebt sich daraus, daß man eine Erwärmung der dicken Wände der Glasröhre wahrnehmen kann, wiewohl deren Masse im Vergleiche zu der des eingeschlossenen Gases sehr groß ist. Die Gastheilchen verbreiten aber auch durch ihr Glühen meistens ein prachtvolles Licht, dessen Farbe in dem engeren Theil der Röhre eine andere ist, als in dem weiteren. Schon diese farbigen Lichterscheinungen sind für gewisse Gase so eigenthümlich, daß sie daran erkannt werden können. Außer der Farbe kann man auch noch stets eine mehr oder weniger regelmäßige Schichtung des Lichtes beobachten. Die Farbenerscheinung ist für jeden Körper eine ganz bestimmte, wird aber durch sehr geringe Beimengung anderer beeinträchtigt; die folgende Tabelle soll eine kleine Uebersicht gewähren.

Benennung des Gases.	Farbe des Lichtes im engen Theile der Röhre.	Farbe des Lichtes im weiten Theile der Röhre.
Wasserstoff . . .	karminroth . . .	röthlich.
Stickstoff . . .	röthlichviolett . .	röthlichviolett (schwächer).
Chlor	grün	röthlichviolett.
Brom	grünlichblau . .	violett.
Jod	grün	rehfarbig.
Zinnchlorid . . .	goldgelb	tiefblau.
Kieselchlorid . .	weißlich	rehfarbig.
Kohlensäure . .	grünlichweiß . .	grünlichweiß.
Einfach-Kohlenwasserstoff . . .	rosa	grünlich.
Doppelt-Kohlenwasserstoff . .	glänzend weiß . .	—
Acetylen . . .	glänzend weiß . .	glänzend weiß.

Mit den Untersuchungen der Gasspektra mittelst Geißler'scher Röhren hat sich mit dem größten Erfolge Plücker beschäftigt, dem es auch gelungen ist auf diesem Wege die durch die Elektricität glühend gemachten Dämpfe von Flüssigkeiten und festen Körpern durch das Prisma zu analysiren. Um die Ergebnisse dieser interessanten Untersuchungen kennen zu lernen, dürfte eine kurze Beschreibung der Gasspektra in der Weise, wie dies bei den Metallspektren geschehen ist, am Platze sein; dieselbe ist den von Plücker veröffentlichten Arbeiten entnommen.

Sauerstoff.

Zur Beobachtung des Sauerstoffspektrums wurde eine Röhre mit Aluminium-Elektroden angewendet, Platinelektroden oxydiren sich so rasch, daß das freie Sauerstoffgas bald nach der Durchleitung des elektrischen Stromes verschwindet. Das Spektrum besteht aus neun farbigen Linien; unter diesen sind eine rothe und eine violette am hellsten, sodann folgen nach ihrer Lichtstärke geordnet zwei grüne, zwei blaue, zwei grünlichgelbe und eine dunkelrothe. Keine von diesen Linien fällt mit einer stärkeren Fraunhofer'schen zusammen.

Wasserstoff.

Das Spektrum des Wasserstoffgases wird von drei hellen Linien gebildet. Am hellsten ist die rothe, die nahe bei C liegt, dann folgt in der Lichtstärke eine grünlichblaue, die mit der Fraunhofer'schen Linie F zu-

sammenfällt, schwächer ist die violette. Das Licht des glühenden Wasserstoffes sendet also Strahlen von dreifacher Brechbarkeit aus.

Wasser.

Es ist bisher nicht möglich gewesen das Spektrum des Wasserdampfes darzustellen, da, sobald der elektrische Strom durch eine mit diesem gefüllte Röhre durchgeleitet wurde, sich derselbe in Wasserstoff und Sauerstoff zersetzte; letzterer verschwand in der Röhre, indem er sich mit der Elektrode, mochte man für dieselbe was immer für ein Metall wählen, chemisch verband. Die Röhre enthielt sodann nur Wasserstoff und gab nur die drei für dieses Gas charakteristischen Linien.

Kohlensäure.

Das Spektrum der Kohlensäure ändert sich bei längerem Durchleiten des elektrischen Stromes, die negative Elektrode oxydirt sich; es hat daher viele Wahrscheinlichkeit, daß das Spektrum dann, wenn es konstant bleibt, nicht das der Kohlensäure, sondern das des Kohlenstoffoxydes darstellt. Es besteht aus acht farbigen Linien, zwischen welchen zehn dunkle vertheilt sind; am hellsten ist eine grüne, dann eine grünlichgelbe und zwei violette.

Kohlenwasserstoffe.

Svan und van der Willigen haben gezeigt, daß die verschiedenen Kohlenwasserstoffe beim Verbrennen an der Luft Spektra geben, die sich nicht von einander unterscheiden lassen. Ersterer hat das Spektrum des Leuchtgases zuerst an dem inneren blauen Flammenkegel des Bunsen'schen Gasbrenners untersucht, und in diesem elf Linien, und zwar vier gelblichgrüne, zwei blaugrüne, vier blaue und eine violette gefunden. Weil jedoch das Leuchtgas keine bestimmte chemische Zusammensetzung hat, da dasselbe ein Gemenge verschiedener gasförmiger Verbindungen ist, unter welchen Wasserstoff, Kohlenoxyd und Kohlenwasserstoffe vorherrschen, so kann auch aus dem Spektrum kein Schluß auf die chemische Natur der im innern Flammenkegel glühenden Gase gemacht werden. Svan hat ferner beobachtet, daß die Spektra anderer Kohlenwasserstoffe dieselben Linien und in übereinstimmender Lage enthalten, und daß nur in der Lichtstärke derselben, je nach der chemischen Natur jener, eine Verschiedenheit herrscht. Dagegen haben Plücker und Morren verdünnte Kohlenwasserstoffe in Röhren eingeschlossen, und durch Elektricität leuchtend gemacht, wodurch sich verschiedene Spektra ergaben. Die Versuche beziehen sich auf den Einfach- und Doppelt-Kohlenwasserstoff, und auf Acetylen.

Wasserfreie Essigsäure.

Das Spektrum besteht aus neun Linien; darunter befinden sich drei, welche dem Wasserstoff und vier, welche der Kohlensäure angehören.

Alkohol und Aether.

Es wurden acht Linien beobachtet; die zwei lichtstärkeren Wasserstofflinien, vier Kohlensäurelinien, eine gelbe und eine schwach violette Linie.

Die Spektra der drei zuletzt aufgeführten Substanzen hält Plücker für Uebereinanderlagerungen des Wasserstoff- und des Kohlensäurespektrum, wiewohl jene mit diesen nicht vollkommen übereinstimmen. Diese Ansicht, welche sehr viel Wahrscheinlichkeit für sich hat, dürfte ihre Bestätigung finden, wenn diese Versuche wiederholt, und mit ganz chemisch reinen Substanzen werden ausgeführt werden. Vollkommen reine Körper zu erhalten ist bei der großen Empfindlichkeit der Spektralreaktionen außerordentlich schwierig; da alle anderen zu Gebote stehenden Mittel fremde Beimengungen nicht mehr erkennen lassen, wenn diese durch das Spektrum noch mit Leichtigkeit können aufgefunden werden. Daß die quantitative chemische Zusammensetzung einen Einfluß ausübe, ist nach dem gegenwärtigen Standpunkte unseres Wissens über diesen Gegenstand nicht anzunehmen; Essigsäure, Alkohol und Aether sind aus Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff jedoch nach verschiedenen Gewichtsverhältnissen zusammengesetzt, sie erleiden durch den elektrischen Strom eine Zersetzung, und liefern, wie aus elektrolytischen Untersuchungen bekannt ist, als Zersetzungsprodukte: Kohlensäure (Kohlenoxyd), Wasser (Wasserstoff) und Kohlenwasserstoffe. Die Verbindungen der Metalle mit Wasserstoff zersetzen sich durch den elektrischen Strom, vielleicht findet ein ähnlicher Vorgang auch bei den Kohlenwasserstoffen statt. Die Bildung von Kohlenwasserstoff (Acetylen), wenn der elektrische Funke zwischen Kohlenstoff-Elektroden im Wasserstoffgas überspringt, kann hier nicht als Gegenbeweis aufgeführt werden, weil dies nur dann geschieht, wenn Wasserstoff im Ueberschuß vorhanden ist, auch wird stets nur ein geringer Theil desselben in Acetylen übergeführt.

Wäre das Spektrum des Kohlenstoffes bekannt, so müßte sich, da man die des Wasserstoffes und Sauerstoffes kennt, aus dem Vergleiche derselben mit denen der Verbindungen des Kohlenstoffes mit Sauerstoff oder Wasserstoff ermitteln lassen, ob der Verbindung zweier oder dreier Körper ein eigenes Spektrum zukommt, oder ob dasselbe eine Uebereinanderlagerung der zwei oder drei Spektra ist, welche dieselben im freien Zustande zeigen. Ein ausgezeichnetes Beispiel der Uebereinanderlagerung zweier Spektra gab ein Versuch, der mit einer Röhre angestellt wurde, die mit verdünntem Dampfe von Schwefelkohlenstoff gefüllt war, und auch zufällig etwas Wasserdampf enthielt. Die Erwartung das Spektrum des Schwefelkohlenstoffes zu sehen, ging nicht in Erfüllung; bald nach dem Durchleiten des Stromes fand eine chemische Zersetzung in der Weise statt, daß der Sauerstoff des Wassers sich mit dem Kohlenstoff des Schwefelkohlenstoffes zu Kohlensäure (Kohlenoxyd) verband, der Wasserstoff ausgeschieden wurde und der Schwefel sich sichtbar an die inneren Wände der Röhre ansetzte. Es konnten nur die dem Wasserstoff und der Kohlensäure zukommenden Linien beobachtet werden.

Chlor.

Das Spektrum des Chlorgases wird von sechs farbigen und elf dunklen Linien gebildet. Charakteristisch sind eine vierfache gelblichgrüne, eine breite grüne, und eine dreifache blaue. Die gelblichgrüne ist von zwei dunklen Linien begrenzt, und durch drei andere in vier Theile getheilt, ebenso ist die blaue durch zwei dunkle Linien begrenzt, und durch zwei andere in drei Theile getheilt. Die einzelnen Streifen der vierfachen Linie sind nicht gleich hell; wenn man dieselben von Roth gegen Blau zählt, so ist der zweite am hellsten, die übrigen nehmen gegen das Blaue an Lichtstärke ab. Zwischen den breiten grünen und dreifach blauen liegen noch drei schwächere grüne und zwei dunkle Linien. Rothe, gelbe und violette Linien fehlen gänzlich.

Zinnchlorid.

Im Spektrum des Zinnchlorides konnten neben den drei charakteristischen Chlorlinien noch fünf andere beobachtet werden; eine gelbe, eine gelbe Doppellinie, in deren Mitte eine hellere Linie sichtbar war, eine grüne und eine blaue. Am hellsten sind die gelben Linien. Da neben den für das Chlor charakteristischen Streifen noch andere erschienen, welche dem Chlor nicht angehören, so können dieselben nur dem Zinn zukommen, und es wäre demnach der Einfluß, welchen das Zinn auf das Spektrum des Zinnchlorides ausübt, leicht erkennbar. Hierzu mag noch bemerkt werden, daß es keineswegs entschieden ist, daß diese fünf Linien dem Spektrum des Zinnes zukommen, da die Möglichkeit keineswegs ausgeschlossen ist, daß sich das Zinnchlorid durch den elektrischen Strom in Chlor und Zinnchlorür zersetzt habe; für diesen Fall wäre das Auftreten der Chlorlinien ebenfalls erklärt, und die fünf Linien würden das Spektrum des Zinnchlorürs bilden. Die Elektroden der angewandten Röhren waren theils aus Platin, theils aus Aluminium, theils aus Zinn; am besten hielten sich die aus Aluminium. Kirchhoff verzeichnet in seiner großen Abbildung, welche den dritten Theil des Sonnenspektrums darstellt, für das Metall Zinn ebenfalls fünf Linien, drei gelbe und zwei grüne; leider ist nicht konstatirt, ob diese mit den beim Zinnchlorid beobachteten identisch sind.

Chlorwasserstoff.

Eine mit Chlorwasserstoff gefüllte Röhre zeigte die für Wasserstoff und Chlor charakteristischen Linien. Nach einigen Monaten gab dieselbe nur das Wasserstoffspektrum; das Chlor wurde wahrscheinlich durch das Platin der Elektroden chemisch gebunden.

Chlorkiesel.

Das Spektrum des Chlorkiesels zeigte zwölf Linien, unter diesen befanden sich die drei für Wasserstoff und die drei für Chlor charakteristischen Linien, eine blauviolette schien auch noch dem Chlor anzugehören; es würden daher auf Kiesel oder Chlorkiesel nur fünf Linien entfallen, eine

glänzend rothe, eine orangengelbe, zwei dunkelviolette und ein heller grüner Doppelstreifen mit einer helleren Linie in der Mitte. Merkwürdig ist die Anwesenheit der Wasserstofflinien, dieselben gehören nicht zum Spektrum des Chlorkiesels, und dürften auf die Anwesenheit von Chlorwasserstoff zurückzuführen sein. Wie bekannt ist der Chlorkiesel eine Flüssigkeit, welche durch Wasser außerordentlich leicht in Kieselsäure und Chlorwasserstoff zersetzt wird; es dürfte sehr schwierig sein Chlorkiesel zu erhalten, welcher vollkommen frei von Chlorwasserstoff ist, da eine nur ganz kurze Berührung mit der stets Feuchtigkeit enthaltenden Luft beim Ueberleeren in die Röhre schon hinreicht, um so viel zu zersetzen, daß die Spektrallinien auf Wasserstoff auftreten. Auf gleiche Weise ist auch die Anwesenheit der Chlorlinien zu deuten, und es bleibt sonach unentschieden, ob die fünf anderen Linien dem Kiesel oder dem Chlorkiesel angehören. Kirchhoff verzeichnet in der Abbildung des Sonnenspektrums zwei breite grüne Linien; dieselben scheinen identisch zu sein mit dem früher angegebenen, von Plücker beobachteten, grünen Doppelstreifen mit einer hellen Linie in der Mitte; bei der großen Ausdehnung des Spektrums, wie es Kirchhoff darstellte, bei der geringen Spaltbreite, deren er sich bediente, und bei Anwendung von vier Prismen ist es natürlich, wenn Linien, die sonst nahe zusammenfallen, oder deren Ränder gegenseitig übergreifen, deutlich von einander geschieden erscheinen. Die helle Linie in der Mitte des grünen Doppelstreifens im Spektrum des Chlorkiesels, und die der gelben Doppellinie in dem des Zinnchlorides ist durch das Uebergreifen zweier sehr nahe liegenden Linien bei geringer Ausdehnung des Spektrums und größerer Spaltbreite sehr leicht erklärlich. Unter der Annahme der Richtigkeit dieser Erklärung wären die zwei Kirchhoff'schen Kiesellinien mit der grünen Doppellinie identisch, und in Folge dessen die für den Chlorkiesel als charakteristisch angeführten fünf Linien eigentlich dem Kiesel angehörig.

Chlorphosphor.

Der an der Luft oder im Sauerstoffgase verbrennende Phosphor giebt ein kontinuirliches Spektrum; Phosphordämpfe für sich in einer Geißler'schen Röhre geben weder ein Spektrum, noch eine Lichterscheinung, sie widersetzen sich dem Durchgehen des Stromes. In eine mit verdünntem Wasserstoffgas gefüllte Röhre wurde aus einer seitlich angeschmolzenen, die durch einen Hahn abgeschlossen werden konnte, durch mäßiges Erwärmen Phosphordampf getrieben. Die Wasserstofflinien, welche nach dem Durchleiten des Stromes erschienen waren, begannen sobald zu verschwinden, als Phosphordampf in die Röhre trat. Eine mit verdünntem Dampf von Chlorphosphor gefüllte Röhre gab ein eigenthümliches Spektrum. Außer schwarzen und rothen Streifen wurden die drei für Chlor charakteristischen und dann noch drei andere sehr helle und intensiv gefärbte Linien, eine rothe, eine orangegelbe und eine violette wahrgenommen; ob diese letzteren dem Phosphor oder dem Chlorphospor angehören ist unentschieden.

Aus den vorliegenden Untersuchungen der Spektra des Chlors und einiger Chlorverbindungen ergiebt sich, daß es bis jetzt noch nicht gelungen ist, die Frage zu entscheiden, ob eine chemische Verbindung ein Spektrum giebt, welches die den beiden die Verbindung bildenden Grundstoffen zukommenden Linien zeigt, oder ob dieselbe ein eigenthümliches besitzt. Für

den ersteren Fall spricht das Spektrum von Chlorwasserstoff, welches deutlich die dem Chlor und dem Wasserstoff entsprechenden Linien neben einander zeigt. Versuche die Spektra anderer Chloride, wie des Titanchlorides, Antimonchlorides, Wismuthchlorides und der Chlorchromsäure darzustellen, sind nicht gelungen.

Brom.

Das Bromspektrum zeigt neunzehn helle Linien von den verschiedensten Farben; zwei rothe, eine orangegelbe, acht grüne, vier blaue und vier violette. Am hellsten sind eine grüne und eine blaue Linie. Die zu den Versuchen benutzte Röhre hatte Platin-Elektroden, und gab immer dasselbe Spektrum; Bromkiesel gab nur das Spektrum des Broms.

Jod.

Um eine Röhre herzustellen, welche nur sehr wenig Joddampf enthält, wurde Wasserstoff zu Hülfe genommen; durch ein seitlich angebrachtes, mit Jod gefülltes, und durch einen Hahn absperrbares Röhrchen wurde über das Jod so lange Wasserstoffgas durch die Röhre geleitet, bis die atmosphärische Luft aus derselben vollständig vertrieben war, sodann wurde das Glasröhrchen an seinem Ende zugeschmolzen. Nachdem das Wasserstoffgas mit Hülfe der Luftpumpe genügend verdünnt war, wurde der Hahn geöffnet, damit Joddampf in die Röhre treten konnte. Nach mehrmaligem Wiederholen dieser Operation enthielt dieselbe nur Joddampf und Wasserstoff in großer Verdünnung. Da das Spektrum des Wasserstoffes bekannt ist, so konnte nach dem Durchleiten des elektrischen Stromes auch genau bestimmt werden, welche Linien diesem und welche dem Jode angehören. Auf diese Art wurde ausgemittelt, daß das Spektrum des Jodes aus einigen zwanzig Linien besteht, unter welchen sich vier rothe, eine orangegelbe, vier gelblichgrüne, zwei grüne, zwei blaue und zwei violette durch besondere Deutlichkeit auszeichnen. Die zwei grünen Linien sind am hellsten, sodann folgen an Helligkeit die orangegelbe und eine blaue, dann die vier rothen und eine violette. Die Spektra von Jodverbindungen wurden nicht untersucht.

Natrium.

Von großem Interesse sind die Versuche auch Metalldämpfe durch den elektrischen Strom leuchtend zu machen; es wurde hierdurch die Ueberzeugung gewonnen, daß die Spektra, die auf diese Art erhalten wurden, mit denen, die durch das Ueberspringen des Funkens von Elektroden desselben Metalles, oder durch Verdampfen einer entsprechenden Verbindung im Bunsen'schen Gasbrenner dargestellt werden können, vollkommen übereinstimmen. Der Beweis wurde durch eine Röhre, welche Natriumdämpfe enthielt, hergestellt, dieselbe gab nur die einzige mit der Fraunhofer'schen Linie D zusammenfallende gelbe Linie.

Quecksilber.

Eine mit Quecksilberdampf gefüllte Röhre, in welcher der Druck so gering war, daß das Quecksilber, welches die Elektroden bedeckte, beim Erwärmen auf 40—50° zu kochen begann, zeigte neun Linien, unter welchen sich eine gelbe, eine grüne und eine violette durch ihre Helligkeit auszeichnen.

Stickstoff.

Das Spektrum des Stickstoffes ist ein sehr komplicirtes, es erstreckt sich von der Fraunhofer'schen Linie B bis H, und enthält vom äußersten Roth bis zum hellen Gelb siebzehn dunkle Linien in vollkommen gleichen Abständen, im Grünen weitere sieben dunkle Linien in ungleichen Abständen. Von der Linie F angefangen wird das Spektrum ein normales, indem farbige Linien und Liniengruppen auf dunklem Grunde sichtbar werden. Man kann von diesen dreizehn unterscheiden; eine blaue und mehrere violette, darunter eine dreifache, sind am hellsten. Das violette Ende des Spektrums dehnt sich weit aus, und kann durch fluorescirende Substanzen sehr schön sichtbar gemacht werden, während dies bei anderen Gasen, wie z. B. beim Wasserstoffgas in kaum merklichem Grade der Fall ist. Erweitert man den Spalt, so ändert sich das ganze Spektrum, die Liniengruppen gehen in kontinuirliche Streifen von größerer Breite ohne dunkle Zwischenräume über, wodurch der früher aufgestellte Satz, daß breite Streifen bei Verengerung der Spalte sich in einzelne Linien von Spaltbreite auflösen, ebenfalls seine Bestätigung findet. Das Spektrum der Luft enthält die eben beschriebenen Linien des Stickstoffes nebst denen des Sauerstoffes.

Schon Brewster hat die Beobachtung gemacht, daß das Sonnenspektrum eine Abänderung erleidet, wenn der Lichtstrahl, der dasselbe erzeugt, durch die rothgefärbten Dämpfe der Untersalpetersäure gegangen ist. Das Spektrum ist sodann von einer großen Anzahl dunkler Linien durchzogen, die jedoch durchgehends breiter und kräftiger sind als die Fraunhofer'schen; das violette Ende des Spektrums ist gänzlich verschwunden. Erwärmt man die genannten Dämpfe, so werden dieselben mit der Zunahme der Temperatur immer dunkler, bis sie endlich vollkommen schwarz und undurchsichtig werden; mit dieser Farbenänderung nimmt auch die Zahl und Breite der im Spektrum erschienenen dunklen Linien gleichmäßig zu, bis endlich alle farbigen Theile gänzlich verschwunden sind. Hieraus folgt, daß die rothen Dämpfe der Untersalpetersäure Sonnenstrahlen gewisser Brechbarkeit nicht durchlassen, daß die durch Erhitzen dunkler gemachten Dämpfe diese Fähigkeit in höherem Grade besitzen, und daß sich dieselbe endlich bis zur vollkommenen Undurchdringbarkeit steigert. Man nennt diese Erscheinung Absorption des Lichtes, und die hierbei entstehenden dunklen Linien Absorptionslinien.

Auch andere farbige Dämpfe zeigen derlei Absorptionserscheinungen, namentlich die des Jodes, Bromes, der Unterchlorsäure u. s. f., während sie durch Chlor, Chlorchromsäure und die prachtvoll karmoisinrothen Dämpfe des Indigo nicht hervorgebracht werden können; farblose Gase und Dämpfe

geben nie solche Erscheinungen. Geht ein Sonnenstrahl, der zur Darstellung eines Spektrums dient, durch die gefärbten Lösungen von Metallsalzen, oder von Farbstoffen, oder durch gefärbte Gläser, so lassen sich ähnliche Erscheinungen beobachten, welche ebenso, wie die Spektrallinien zum Erkennen der Substanzen angewendet werden können; es soll von dieser Art von Untersuchungen später die Rede sein.

Es ist eine vielfach erwiesene Thatsache, daß die hellen farbigen Linien im Spektrum eines Gases oder Dampfes übereinstimmen mit jenen, welche durch Absorption in einem kontinuirlichen Spektrum entstehen, wenn die Lichtstrahlen, welche dasselbe bilden, eine Schichte jenes Gases oder Dampfes durchdringen müssen. Wiewohl dieser Gegenstand erst im folgenden Abschnitte ausführlich wird erörtert werden, so schien es doch zweckmäßig, schon hier diese Thatsache zu erwähnen, weil dieselbe geeignet ist, auf die Entscheidung der Frage Einfluß zu nehmen, ob das Spektrum eines Elementes in dem einer Verbindung desselben mit einem anderen unverändert enthalten ist, oder ob letztere ein von jenem verschiedenes und eigenthümliches Spektrum besitzt. Die Luft, ein Gemenge von Sauerstoff und Stickstoff, giebt ein Spektrum, in welchem die beiden Stoffen zukommenden hellen Linien enthalten sind, aber sie erzeugt nie Absorptionslinien; während die Dämpfe der Untersalpetersäure, welche eine chemische Verbindung von Stickstoff und Sauerstoff sind, solche in großer Menge zeigen. Ebenso verhält es sich beim Jod, welches Spektrallinien und Absorptionslinien giebt, während letztere durch Jodwasserstoff nicht hervorgebracht werden; Chlorgas hingegen giebt Spektrallinien aber keine Absorptionslinien, wohl aber kommen solche den Dämpfen der Unterchlorsäure zu.

Daß die chemische Verbindung auf diese Erscheinungen einen Einfluß nimmt, scheint durch das so eben Angeführte begründet zu sein; werden durch die chemische Verbindung die Absorptionslinien eines Gases geändert, oder verschwinden dieselben, so müssen sich auch im selben Grade die hellen farbigen Spektrallinien ändern, oder verschwinden, da ja der Zusammenhang jener mit diesen als eine erwiesene Thatsache zu betrachten ist. Wenn dessenungeachtet früher an mehreren Orten der Satz ausgesprochen wurde, daß die Spektra der Metalle mit denen ihrer entsprechenden chemischen Verbindungen vollkommen übereinstimmen, und durch die anderen in der Verbindung befindlichen Elemente in keiner Weise eine Aenderung erleiden, also die chemische Verbindung gar keinen Einfluß ausübt, so darf doch nicht vergessen werden, daß dieser Satz nur das Ergebniß der Erfahrung, nicht aber das Resultat wissenschaftlicher Erkenntniß ist; denn die Uebereinstimmung und Unveränderlichkeit der Spektra der verschiedenen chemischen Verbindungen ein und desselben Metalles ist ja eben nur beobachtet, aber nicht erklärt. Es ist nicht unschwer die Annahmen zu finden, mit welchen eine Erklärung gegeben werden könnte, aber ungleich schwieriger ist es, die Richtigkeit solcher Annahmen zu begründen.

Umkehrung der Spektrallinien.

Der durch eine so folgenschwere Entdeckung wie die der Spektralanalyse gegebene Anlaß brachte es mit sich, daß die Spektralerscheinungen zu den verschiedenartigsten Studien über die Natur leuchtender Körper in Anwendung kamen. In nicht geringerem Maße machte sich auch das Streben geltend, diese Erscheinungen in Zusammenhang mit anderen schon bekannten zu bringen; es wurde Thatsachen, die längere Zeit unbeachtet geblieben waren, neuerdings erhöhtere Aufmerksamkeit geschenkt, und durch die Erfolge, die nunmehr mit denselben erzielt wurden, erst ihr voller Werth erkannt. Vorzugsweise sind es zwei Beobachtungen, von denen man dies mit vollem Rechte sagen kann; die eine wurde von dem französischen Physiker Foucault, die andere von Fraunhofer und Brewster gemacht.

Im Jahre 1849 veröffentlichte Foucault seine Versuche über das Spektrum des elektrischen Lichtbogens zwischen Kohlenspitzen bei konstantem elektrischem Strom. Er erwähnt in dieser Arbeit die Beobachtung, daß das Licht des elektrischen Bogens ein Spektrum liefert, in welchem auch die hellen Natriumlinien erscheinen (weil die angewandten Kohlenspitzen natriumhaltig waren), und daß sich dieselben, wenn gleichzeichzeitig Sonnenlicht durch den Bogen geleitet wird, in ganz schwarze Linien verwandlen. Hiermit war die Entdeckung jener Erscheinung gemacht, die wir heute Umkehrung der Spektrallinien nennen. Die zweite sehr wichtige Entdeckung machte Fraunhofer, der fand, daß die zwei gelben Linien des Natrium dieselbe Lage im Spektrum haben, als die mit D bezeichneten dunklen Linien des Sonnenspektrums. Ebenso fand Brewster, daß einige helle Linien, die er in dem Spektrum einer durch Verbrennung einer Mischung von Kohle mit Salpeter hervorgebrachten Flamme fand, mit dunklen Linien des Sonnenspektrums zusammenfallen. Da diese beiden Beobachtungen durch die von Kirchhoff in neuester Zeit angestellten Untersuchungen über die physische Natur der Sonne sehr an Bedeutung gewonnen haben, so dürfte die Anführung derselben gerechtfertigt sein.

Zum Verständniß der Erscheinung, welche man Umkehrung der Spektrallinien nennt, müssen einige Sätze, auf welche sich die Erklärung derselben gründet, vorausgeschickt werden. Kirchhoff hat gefunden, daß für jede Gattung von Lichtstrahlen, wenn diese der Wärme ihre Entstehung verdanken, das Verhältniß zwischen dem Vermögen Strahlen auszusenden und zu absorbiren bei derselben Temperatur auch für alle Körper das gleiche ist. Ebenso wichtig ist der Erfahrungssatz, daß jedes glühende Gas Strahlen von der Brechbarkeit, welche es selbst aussendet, in einem von der Höhe seiner Temperatur und Lichtintensität abhängigem Grade absorbirt. Einen sehr interessanten experimentellen Beweis für die Richtigkeit des letzteren Satzes hat Roscoe geführt. Derselbe hat in einer mit Wasserstoffgas gefüllten Glasröhre ein Stückchen metallisches Natrium eingeschlossen, und erhitzt, die entstandenen Dämpfe waren in dem Lichte einer gewöhnlichen Flamme oder im Sonnenlichte ganz unsichtbar, d. h. farblos und

durchsichtig, während sie von einer mit Kochsalzdampf gesättigten Alkoholflamme beleuchtet, als schwarzer Rauch erschienen. Die von dem glühenden Kochsalzdampfe ausgehenden Lichtstrahlen können also den Dampf von freiem Natrium, der nicht so stark erhitzt ist, daß er Licht verbreiten könnte, nicht durchdringen, sie werden von diesem so vollständig absorbirt, daß der Natriumdampf undurchsichtig wird und schwarz erscheint. Kochsalz ist eine chemische Verbindung von Chlor und Natrium, und da man dieselbe Erscheinung auch mit Bromnatrium und Jodnatrium erhält, so folgt, daß auch in diesem Falle die Qualität der Lichtstrahlen, nämlich ihre Brechbarkeit, einzig und allein nur von der chemischen Natur des Metalles Natrium abhängt, und durch die anderen in der Verbindung enthaltenen Stoffe, Chlor, Brom, Jod nicht geändert wird.

Die Absorption selbst ist nichts anderes als eine Aenderung der Bewegungszustände jener materiellen Theilchen, welche den Lichtstrahl bilden. Wie schon angegeben, bezieht sich der über die Absorptionsfähigkeit einer Flamme aufgestellte Satz auf Lichtstrahlen, welche durch Wärme hervorgebracht wurden; es wird also durch die Absorption nur der Bewegungszustand modificirt, nämlich Schwingungen, welche Licht bewirken, verändern sich in solche, welche Wärme hervorbringen, gerade so wie die Wärmeschwingungen ursprünglich zur Entstehung von Lichtschwingungen Anlaß gegeben haben.

Wenn Natriumdämpfe, es sind hierunter sowohl die Dämpfe von metallischem Natrium als auch die von Natriumverbindungen zu verstehen, die Eigenschaft besitzen, die von einer durch Kochsalz gelb gefärbten Flamme ausgehenden Lichtstrahlen zu absorbiren, so will damit gesagt sein, daß jene überhaupt Lichtstrahlen von der bestimmten Brechbarkeit, wie sie die Kochsalzflamme aussendet, absorbiren; Natriumdämpfe sind daher für solche Strahlen undurchdringlich und in solchem Lichte undurchsichtig, während sie für Lichtstrahlen jeder anderen Brechbarkeit durchsichtig und durchdringbar sind. Es muß gleichgültig sein, von welcher Lichtquelle die absorbirten Strahlen herstammen, wenn diese nur dieselbe Brechbarkeit besitzen; Natriumdämpfe werden daher auch jene Theile des kontinuirlichen Spektrums absorbiren, welche durch gleich brechbare Strahlen entstanden sind. Betrachtet man ein kontinuirliches Spektrum durch Natriumdämpfe, so wird man in demselben eine schwarze Linie wahrnehmen von der Lage und Breite, wie wenn man unter denselben Verhältnissen die hellgelbe Natriumlinie darstellen würde. Auf gleiche Weise werden durch andere Flammen auch andere Theile des Spektrums absorbirt werden können, und es ist leicht einzusehen, daß, wenn die verschiedenen Flammen Linienspektra geben, durch Absorptionswirkungen jener in einem kontinuirlichen Spektrum ebenso viele dunkle Linien von gleicher Lage, Breite und Intensität entstehen müssen, als die Flammenspektra helle und gefärbte enthalten.

Um den Umkehrungsversuch auszuführen, stellt man sich ein kontinuirliches Spektrum dar, wozu man am besten das Drumond'sche Kalklicht anwendet. Man erhält dieses, wenn man einen kleinen Cylinder oder Kegel aus gebranntem Kalke durch die Knallgasflamme bis zur Weißgluth erhitzt. Die Knallgasflamme ist verbrennendes Wasserstoffgas, welchem erst bei der Ausströmungsöffnung soviel Sauerstoffgas zugeführt wird, als zur vollständigen Verbrennung desselben erforderlich ist. Um die Mengen der beiden Gase, welche man zusammenleitet, entsprechend reguliren zu können,

bedient man sich eines eigenen Apparates, welcher nach seinem Entdecker der Daniell'sche Hahn genannt wird. Statt des Wasserstoffgases kann hierzu auch Leuchtgas benutzt werden.

Da jeder feste oder flüssige glühende Körper ein kontinuirliches Spektrum ohne dunkle Linien giebt, so wird man ein solches auch durch das glänzend weiße Drumond'sche Kalklicht erhalten. Bringt man nun während der Beobachtung des Spektrums zwischen diese Lichtquelle und den Spalt des Spektralapparates, möglichst nahe an letzteren, eine Flamme von wässerigem Weingeist, in welchem Kochsalz aufgelöst sich befindet, so erscheint im gelben Theil des Spektrums eine schwarze Linie; entfernt man jene, so verschwindet dieselbe wieder. Es muß also die Kochsalzflamme eine Absorption auf die gelben Strahlen des Spektrums ausüben. Unter den verschiedensten Umständen angestellte Versuche haben gezeigt, daß jede Kochsalzflamme auf jedes kontinuirliche Spektrum, sei es durch was immer für eine Lichtquelle hervorgebracht, dieselbe Wirkung ausübt unter der Bedingung, daß die Temperatur des glühenden Kochsalzdampfes geringer ist, als die der Lichtquelle. Die Absorption ist um so leichter wahrzunehmen, je geringer die Leuchtkraft der Kochsalzflamme ist, und weil die Leuchtkraft von der Temperatur abhängt, so wird sich eine Weingeistflamme zu diesem Versuche viel besser eignen, als eine Gasflamme.

Die vor dem Spalte befindliche Kochsalzflamme sendet Lichtstrahlen aus, welche nach dem Durchgange durch das Prisma die gelbe Natriumlinie hervorbringen. Die Lichtintensität dieser Linie kann durch die entferntere Lichtquelle, von der das kontinuirliche Spektrum herrührt, nicht verringert werden, ja sie wird, da die Absorption nur eine theilweise ist, durch diese sogar noch vermehrt; es entsteht also die Frage, welcher Ursache ist das Dunkelwerden der Natriumlinie zuzuschreiben.

Zur Beantwortung derselben möge folgende Betrachtung führen; von zwei leuchtenden Körpern, die verschiedene Lichtintensität haben, erscheint uns derjenige dunkler, welcher die geringere Lichtintensität besitzt, er wird um so dunkler erscheinen, je größer die Verschiedenheit in dieser Beziehung ist; der weniger leuchtende Körper ist also nur dunkel im Vergleiche mit einem sehr hell leuchtenden, es ist dies die Wirkung des Kontrastes. Zum Beweise des eben Gesagten braucht man nur eine Spiritusflamme im Sonnenlichte zu betrachten, sie wird kaum sichtbar sein, während sie in einem gänzlich verfinsterten Zimmer doch einiges Licht verbreitet; auch das Rothglühen des Eisens kann man nur im Dunkeln aber nicht im hellen Sonnenschein wahrnehmen.

Wenden wir diese Erfahrung auf die Umkehrung der Natriumlinie an, so wird uns die Ursache dieser Erscheinung leicht erklärbar. Der stark leuchtende glühende Körper, der das kontinuirliche Spektrum erzeugt, sendet Strahlen jeder Brechbarkeit aus; ein Theil derselben, welcher gleiche Brechbarkeit besitzt mit denen, welche die vor dem Spalte befindliche Kochsalzflamme aussendet, wird von dieser absorbirt, alle anderen erleiden gar keine Schwächung in ihrer Lichtintensität. Der den absorbirten Strahlen entsprechende Theil des Spektrums wird also dunkel erscheinen im Vergleiche mit dem, welcher von den anderen gebildet wird. Ist nun die Lichtstärke der Lichtquelle um vieles größer als die der Kochsalzflamme, so wird auch der Verlust an Licht durch die Absorption, wiewohl sie keine vollständige ist, doch noch immer größer sein, als der Zuwachs, den der

entsprechende Theil des Spektrums durch die Lichtmenge erhält, welche die Kochsalzflamme für sich aussendet; daher werden die hellleuchtenden der Natriumlinie zunächst gelegenen Theile des Spektrums mit dieser viel weniger leuchtenden einen so starken Kontrast bilden, daß dieselbe dunkel erscheint.

Daß das Dunkelwerden der Natriumlinie wirklich nur eine Kontrastwirkung ist, hat Kirchhoff experimentell bewiesen. Er benutzte als Lichtquelle die Sonne; durch Anwendung verschiedener Mittel war er im Stande Sonnenspektra von verschiedener Lichtstärke herzustellen; ein mäßig helles Sonnenspektrum konnte bei einer Natriumflamme keine Umkehrung bewirken, im Gegentheil, auf demselben erschien die helle gelbe Natriumlinie in der ihr eigenthümlichen Lage. Wurde jedoch die Lichtintensität des Sonnenspektrums gesteigert, so nahm die der Natriumlinie im selben Verhältnisse ab, fiel volles Sonnenlicht auf den Spalt und auf die vor diesem befindliche Flamme, so erschien die Natriumlinie vollkommen schwarz; je näher die Flamme dem Spalte stand, um desto deutlicher war die Umkehrung der gelben Linie in eine dunkle zu beobachten, bei allmäliger Entfernung derselben erblaßte die schwarze Linie, bis sie endlich ganz verschwand.

Alles dasjenige, was bisher über die Umkehrung der gelben Natriumlinie gesagt wurde, gilt auch für die Linien anderer Spektra; Bunsen und Kirchhoff haben dieselbe durch Experimente nachgewiesen für die Linien des Lithium, Kalium, Strontium, Kalcium und Baryum. Die Umkehrung gelingt bei den hellen Linien leichter als bei den weniger hellen, was, wenn man die Ursache der Umkehrung berücksichtiget, leicht erklärlich ist; die Absorption ist in diesem Falle eine unvollständigere.

Erklärung der Fraunhofer'schen Linien.

Die Ursache, welcher die Fraunhofer'schen Linien ihre Entstehung verdanken, blieb bis auf die neueste Zeit unbekannt; erst in dieser hat Kirchhoff eine Erklärung derselben veröffentlicht, welche sehr viel Wahrscheinlichkeit hat, jedoch eine solche physische Beschaffenheit der Sonne voraussetzt, welche mit den bis jetzt allgemein angenommenen Ansichten über den Bau dieses Himmelskörpers nicht übereinstimmt. Um daher diese Erklärung würdigen zu können, ist es nothwendig dasjenige vorauszuschicken, was zum Verständniß derselben wesentlich beitragen kann.

Die große Entfernung der Sonne von der Erde und die Unzulänglichkeit der Beobachtungsmittel waren stets Hindernisse, bestimmte Aufschlüsse über ihre physische Natur zu erhalten, dessen ungeachtet ist man doch durch vielfache und seit Jahrhunderten unermüdlich fortgesetzte Beobachtungen zu der allgemein angenommenen Ansicht gelangt, daß dieselbe aus einem festen oder feurig flüssigen Kerne und aus einer leuchtenden Dunstschichte bestehe, welche denselben von allen Seiten umgiebt und Photosphäre genannt wird. Zur Annahme der letzteren führen besonders zwei Erscheinungen, welche schon

seit langem an der Sonne beobachtet werden, nämlich die Sonnenflecken und die Sonnenfackeln.

Betrachtet man die Sonne durch ein stark vergrößerndes Fernrohr, so findet man, daß die Oberfläche derselben nicht an allen Stellen gleichmäßig helle ist, sondern daß hellere und mattere Partien mit einander abwechseln, und die Scheibe das Ansehen hat, als wär sie mit Schuppen bedeckt. Noch auffallender sind jedoch viele größere oder kleinere dunkle Flecken, welche manchmal ganz schwarz erscheinen, die Sonnenflecken, und andere aderartige Gebilde aus vielen wellenartig gebogenen oder sich verzweigenden feinen Lichtstreifen bestehend, die sich durch einen besonders hellen Lichtglanz bemerkbar machen, und darum Sonnenfackeln genannt werden. Seit Jahrhunderten hielt man die Sonne für das Sinnbild der größten Reinheit; desto größeres Aufsehen mußte es daher machen, als etwa zu Anfang des siebzehnten Jahrhunderts auf der Sonnenscheibe dunkle Flecken entdeckt wurden; wer der erste und eigentliche Entdecker derselben war, konnte nicht ermittelt werden, jedenfalls aber sind Galilei, Christoph Scheiner, der Engländer Harriot und Johann Fabricius als die ersten und nahezu gleichzeitigen Beobachter zu verzeichnen; der letztere veröffentlichte im Jahr 1611 das erste Werk über diesen Gegenstand.

Seit jener Zeit wurden die Sonnenflecken eifrig beobachtet, und viele Erfahrungen über ihre Größe und Dauer, über ihr Erstehen und Verschwinden, sowie über ihre Anzahl gemacht. Sie bestehen aus unregelmäßig geformten, scharf begrenzten dunkeln Stellen, welche von einem koncentrischen aschfarbigen Rande eingefaßt sind; sie sind ihrer Farbe nach eigentlich rostbraun und nicht schwarz, erscheinen aber so durch den Kontrast mit den nebenliegenden und hellleuchtenden Partien der Sonnenscheibe. Ihre Größe ist sehr verschieden, und erreicht manchmal die fünffache der des Erddurchmessers; man sieht sie am linken oder östlichen Rande der Scheibe erscheinen und gegen den rechten oder westlichen beständig vorrücken, bis sie am dreizehnten Tage nach ihrem Erscheinen wieder verschwunden sind; aus dieser Bewegung der Sonnenflecken wurde zuerst der Schluß gezogen, daß die Sonne sich um ihre Axe drehe.

In der Mitte der Scheibe angelangt, sind sie am deutlichsten sichtbar, bei ihrem Vorrücken gegen den Rand werden sie immer schmäler; dies steht wohl unzweifelhaft mit der Kugelgestalt der Sonne im Zusammenhange. Auch ihre Dauer ist sehr verschieden, während manche kaum entstanden, nach einigen Stunden wieder verschwinden, sind andere mehrere Monate ja bis über ein halbes Jahr sichtbar geblieben. Aufmerksame Beobachter berichten, daß man deutlich sehen kann, wie Flecken entstehen und verschwinden, wie dieselben größer und kleiner werden, wie sie sich theilen und wieder vereinigen; wenn sie verschwinden, so verliert sich zuerst der dunkle Fleck und dann erst der aschfarbige Rand. Oft ist die Sonne durch mehrere Tage oder Wochen ganz frei von allen Flecken, während zu anderen Zeiten sehr viele gleichzeitig beobachtet werden können. Schwabe in Dessau kam durch unermüdliche Beobachtung der Flecken zu dem sehr merkwürdigen Resultate, daß sich in der Anzahl derselben Maxima und Minima nachweisen lassen, welche periodisch wiederkehren; der Zeitraum von einem Minimum bis zum nächsten beträgt beiläufig eilf Jahre.

Ueber die Ursache des Entstehens und Verschwindens der Sonnenflecken hat man vorzugsweise zwei Ansichten, eine ältere, die auch allgemein von

den Astronomen wegen ihrer großen Wahrscheinlichkeit angenommen wurde, und eine neuere von Kirchhoff aufgestellte, deren Begründung eben mit der Entstehung der Fraunhofer'schen Linien im Zusammenhange steht. Indem wir die verschiedenen älteren Erklärungen der Sonnenflecken, nach welchen dieselben durch Auswürfe aus Sonnenvulkanen, oder durch aus der Photosphäre hervorragende Bergspitzen gebildet werden sollten, übergehen, und nachdem auch die Ansicht, daß dieselben nichts anderes seien als vor der Sonnenscheibe vorüberziehende Planeten, Satelliten, oder andere kosmische Massen, als mit den beobachteten Eigenschaften der Flecken nicht im Einklange stehend, für unrichtig erkannt wurde, stellte Herschel eine Theorie über den Bau der Sonne und über die Entstehung der Flecken auf, welche von Dawes und Arago noch weiter entwickelt wurde.

Nach Herschel besteht die Sonne aus einem dunkeln oder doch wenigstens relativ dunkleren Kern, der von drei Dunstschichten umgeben ist; die dem Kern zunächst liegende ist ebenfalls dunkel, die darauffolgende nur wenig leuchtend und nahezu durchsichtig, die äußerste Schichte hingegen befindet sich im Zustande der höchsten Glühhitze, ist leuchtend, und wurde aus diesem Grunde Photosphäre genannt. Wird nun diese äußerste Schichte durch irgend eine Veranlassung zerrissen, so wird die dunkle den Sonnenkörper umhüllende Dunstschichte bloßgelegt, welche, weil sie von der Photosphäre schwach beleuchtet wird, sodann aschgrau erscheint. Wird jedoch auch diese Dunsthülle zerrissen, so wird, je nach der Größe der entstandenen Oeffnung, ein Theil der Oberfläche des dunkeln Kernes sichbar werden. Demnach entstehen also die Flecken durch Oeffnungen in den umhüllenden Dunstschichten und durch Bloßlegung des dunkeln Sonnenkernes, sie sind daher eigentlich Vertiefungen, die sich in den Dunsthüllen bilden; schließen sich die Oeffnungen, so werden die Vertiefungen wieder ausgefüllt, wodurch die Sonnenflecken verschwinden.

Für die Richtigkeit dieser Ansicht sprechen mehrere Beobachtungen, unter welchen zwei, als für diese Frage wichtig, hervorgehoben werden sollen. Erstens hat man beobachtet, daß, wenn die Sonnenflecken in der Mitte der Scheibe stehen, dieselben einen zu beiden Seiten gleich breiten aschgrauen Rand besitzen, während derselbe, bevor der Fleck in die Sonnenmitte kommt, auf der linken Seite und dann, wenn derselbe sich von der Mitte gegen den Rand bewegt, auf der rechten Seite breiter erscheint, was nur dann erklärlich ist, wenn man annimmt, daß der dunkle Kern tiefer liegt, als die aschgraue Einfassung, und diese tiefer als die leuchtende äußerste Umhüllung, d. h. wenn man die Flecken als Vertiefungen auffaßt. Ferners hat man durch Beobachtung gefunden, daß die Flecken, wenn sie gegen den Rand der Sonnenscheibe vorrücken, immer schmäler werden, und daß dieselben bei ihrem Austritte schmale kanalartige Einschnitte im Sonnenrande zeigen, was ebenfalls nur dann stattfinden kann, wenn dieselben als Vertiefungen betrachtet werden. Durch das Zerreißen der leuchtenden Hülle muß sich die Lichtmaterie derselben an den neben den Flecken liegenden Orten aufstauen, und die Erscheinung der Sonnenfackeln hervorbringen; in der That fand auch diese Ansicht ihre Bestätigung, denn beim Austritte der Fackeln aus der Sonnenscheibe bildeten diese bergartige und hellleuchtende über den Sonnenrand hinausragende Erhöhungen.

Dieser Anschauung entgegen entwickelt nun Kirchhoff, von der schon von Galilei ausgesprochenen Meinung ausgehend, nach welcher die Sonnenflecken als auf der leuchtenden Umhüllung der Sonne sich bildende Wolken zu betrachten seien, folgende Theorie über die Entstehung der Flecken. Seiner Ansicht zu Folge besteht die Sonne aus einem festen oder flüssigen Kerne, der sich in höchster Weißglühhitze befindet, und aus einer leuchtenden und glühenden Umhüllung, der Photosphäre. An dieser unterscheidet er weiters eine dichtere und heißere den Kern zunächst umhüllende Schichte und eine minder dichte äußere, deren Temperatur etwas niedriger ist. Die Temperatur des Kernes hält er für bedeutend höher als die der Photosphäre. — Findet nun durch irgend eine Veranlassung an irgend einem Punkte der den Kern zunächst umhüllenden Schichte eine Abkühlung statt, so wird sich durch Kondensation der in der Photosphäre befindlichen, dampfförmigen Stoffe eine Wolke bilden, welche verhindern wird, daß den über ihr befindlichen Dämpfen Wärme zustrahlt; die Wolke wird daher von oben fortwährend durch weitere Kondensation an Dicke zunehmen, endlich undurchsichtig werden, und so, weil sie kein Licht mehr durchdringen läßt, den dunkeln Kern eines Sonnenflecken bilden. Diese Wolke wird aber auch auf die äußerste, dünne Umhüllung abkühlend wirken, da sie den Durchgang der Wärmestrahlen nicht gestattet; dies wird daher zur Bildung einer zweiten Wolke Anlaß geben, welche, da sie sich aus einem weniger heißen und minder dichten Dampfe bildet, theilweise durchsichtig oder doch wenigstens durchscheinend sein wird. Hat diese Wolke die entsprechende Größe erreicht, so wird sie, da sie an Ausdehnung die erste Wolke übertreffen wird, mit ihren Rändern über diese noch hinausragen, und hierdurch den den dunklen Raum umgebenden aschgrauen Rand bilden. Daß auch bei dieser Voraussetzung sich die Breite dieses Randes bei der Bewegung der Flecken von links nach rechts im selben Sinne ändert, wie dies früher bei der ersten Theorie angegeben wurde, ist wohl leicht einzusehen; lösen sich diese Wolken wieder zu Dämpfen auf, so verschwinden die Flecken; die untere Wolke, welche den dunkelsten Theil des Fleckens bildet, wird der vom glühenden Kern ausstrahlenden Wärme mehr ausgesetzt sein als die obere, und daher auch zuerst verschwinden. Dies stimmt mit den beobachteten Erscheinungen auch vollkommen überein, und nur die kanalartigen Einschnitte lassen sich bei diesen Annahmen nicht erklären.

Abgesehen von der Entstehung der Sonnenflecken, unterscheiden sich die zwei entwickelten Theorien vornehmlich dadurch, daß die erstere einen dunkeln oder doch einen wenig leuchtenden Kern annimmt, während die zweite diesen als in höchster Weißglühhitze befindlich betrachtet. Letztere Annahme ist aber die Grundlage für die von Kirchhoff gegebene Erklärung der Fraunhofer'schen Linien, und mußte daher, um den Werth derselben beurtheilen zu können, früher angeführt werden.

Bringt man diesen Bau der Sonne mit den durch das Licht derselben bewirkten Spektralerscheinungen in Zusammenhang, so folgt daraus unmittelbar, daß der feste oder flüssige Kern der Sonne, da er sich in größter Glühhitze befindet, sowie jeder andere feste oder flüssige glühende Körper Licht von jeder Brechbarkeit aussendet, und daß dieses, wenn wir es durch ein Prisma zerlegen könnten, ein kontinuirliches Spektrum ohne alle Unterbrechungen liefern würde; da dies aber wegen der den Kern umhüllen-

den Photosphäre nicht möglich ist, und die von jenem kommenden Lichtstrahlen diese erst durchdringen müssen, so ist es natürlich, daß dieselbe wegen ihres dampfförmigen Zustandes auch alle Lichtstrahlen von der Brechbarkeit, welche sie selbst aussendet, absorbirt. Es wird daher das von der Sonne auf die Erde gelangte Licht nicht mehr Strahlen jeder Brechbarkeit enthalten, und in Folge dessen ein diskontinuirliches Spektrum geben, dessen Unterbrechungen als Fraunhofer'sche Linien bekannt sind.

Die Verschiedenheit in der Brechbarkeit der Strahlen, welche ein leuchtender Körper aussendet, hängt aber wie bekannt von der chemischen Natur der Dämpfe ab, welche durch ihr Glühen Licht hervorbringen; es muß demnach auch die Photosphäre der Sonne Dämpfe von bestimmter chemischer Konstitution enthalten, da deren Vorhandensein durch die absorbirende Kraft, welche jene auf die vom glühenden Kern ausgesendeten Lichtstrahlen ausübt, sich bemerkbar macht. Würde die Photosphäre z. B. nur aus Natriumdämpfen bestehen, so würde auch nur die mit D bezeichnete schwarze Doppellinie im Sonnenspektrum erscheinen, da ja Natriumdämpfe für alle Lichtstrahlen anderer Brechbarkeit als der, welche sie selbst aussenden, vollkommen durchsichtig sind. Der Grund, der für die Entstehung der schwarzen Doppellinie D angegeben wurde, läßt sich aber auch für die Entstehung der anderen Fraunhofer'schen Linien geltend machen, und da einige Tausende derselben beobachtet werden können, so müssen auch viele, verschiedenartige chemische Stoffe in der Photosphäre als Dämpfe vorhanden sein, welche durch Absorption diese Linien hervorbringen. Manche Dämpfe besitzen die Eigenschaft nur Lichtstrahlen bestimmter Brechbarkeit, andere solche von verschiedener Brechbarkeit zu absorbiren; jene werden daher die Entstehung einzelner, diese die mehrerer dunkler Linien veranlassen.

Die Absorption findet in der äußersten Schichte der Photosphäre statt; daß dies wirklich der Fall ist, ergiebt sich aus ihren Eigenschaften; denn sie besitzt nicht nur im Vergleiche mit den anderen Schichten die niedrigste Temperatur, sondern sie leuchtet auch für sich am wenigsten; aus diesen Gründen kann auch die innere den Kern zunächst umhüllende Schichte der Photosphäre, weil sie die entgegengesetzten Eigenschaften besitzt, nur in geringem Grade die Erscheinung der Absorption hervorbringen, da sie sich nahezu in ebenso lebhafter Glühhitze befindet als der Kern, und daher den durch die Absorption bewirkten Lichtverlust durch das eigne Licht reichlich zu ersetzen im Stande ist. Daß die absorbirende Schichte eine niedrigere Temperatur haben muß als der leuchtende Körper, dessen Lichtstrahlen absorbirt werden sollen, wurde schon in einem vorhergehenden Abschnitte erörtert, kann aber auch ebenso überzeugend durch ein Experiment bewiesen werden. Betrachtet man das Spektrum, welches das Drummond'sche Kalklicht erzeugt, und bringt unmittelbar vor die Spalte des Spektralapparates eine Flamme, welche Natriumdämpfe enthält, so kann man je nach der Temperatur derselben die Natriumlinie entweder hellgelb oder dunkel erscheinen sehen. Wendet man zu diesem Versuche eine Gasflamme an, so erscheint die Linie hellgelb, weil die Temperatur derselben hoch und in Folge dessen die Leuchtkraft der Natriumdämpfe groß ist, benützt man jedoch die Flamme von wässerigem Weingeist, in welchem Chlornatrium aufgelöst wurde, so erscheint die Natriumlinie dunkel, weil sowohl die Temperatur der Flamme als auch die Leuchtkraft der Dämpfe eine viel geringere ist, und nur

unter diesen Verhältnissen die Absorption deutlich wahrgenommen werden kann.

Als eine weitere interessante Folgerung muß hervorgehoben werden, daß die leuchtende Photosphäre für sich, oder wenn der innere Sonnenkern nicht leuchten würde, wegen ihres gasförmigen Zustandes ein diskontinuirliches Spektrum, aus vielen hellen Linien bestehend, geben müßte. Dieses Spektrum würde alle Linien enthalten, die den in der Photosphäre dampfförmig vorkommenden chemischen Stoffen entsprechen, und da die Dämpfe dieser Stoffe gerade jene Lichtstrahlen zu absorbiren im Stande sind, welche sie selbst aussenden, so ist der Zusammenhang der hellen Spektrallinien, welche die leuchtende Photosphäre geben würde, mit den dunkeln durch dieselbe Photosphäre gebildeten Absorptionslinien, das sind die Fraunhofer'schen Linien, als erwiesen zu betrachten. — Wenn nun die Frauenhofer'schen Linien nichts anderes sind als durch Absorption dunkel gemachte Spektrallinien, so muß es möglich sein aus der Koincidenz der hellen Linien eines Metallspektrums mit jenen einem Schluß auf die Anwesenheit der Dämpfe dieses Metalles in der Photosphäre ziehen zu können. Und in der That, Kirchhoff hat gefunden, daß die Linien einiger Metallspektra mit ebenso vielen Fraunhofer'schen Linien ihrer Lage und Breite nach vollkommen übereinstimmen.

Um aus der Lage der Fraunhofer'schen Linien im Sonenspektrum einen Rückschluß auf die chemische Natur der Dämpfe, die den Sonnenkern umhüllen, machen zu können, war es nothwendig die Spektra der verschiedenen chemischen Elemente mit dem des Sonnenlichtes zu vergleichen, und zu konstatiren, welche Spektrallinien mit Frauenhofer'schen Linien die gleiche Lage und Größe haben. Zur Erreichung dieses Zieles beobachtete Kirchhoff gleichzeitig das Sonnenspektrum und je ein Metallspektrum, indem er beide unter ganz gleichen Verhältnissen darstellte; mit Hülfe des an der Spalte des Spektralapparates angebrachten kleinen Prismas konnte das Licht eines glühenden Metalldampfes und durch den offen gebliebenen Theil der Spalte das Sonnenlicht zu gleicher Zeit in den Apparat geleitet, und durch die Prismen in ihre farbigen Theile zerlegt werden, so daß das Sonnenspektrum über dem des Metalles zu liegen kam. Durch den Vergleich je zweier solcher Spektra gelangte nun Kirchhoff zu dem überraschenden Resultate, daß die hellen Linien gewisser Metalle mit dunklen des Sonnenspektrums koindiziren. Am auffallendsten konnte dieses Verhalten beim Eisen, Natrium, Kalium, Kalcium, Magnesium, Chrom und Nickel beobachtet werden, deren Spektrallinien mit ebenso vielen dunkeln Linien nicht nur in der Lage und Breite vollkommen übereinstimmten, sondern auch in Bezug auf ihre Lichtintensität eine Beziehung wahrnehmen ließen; je heller nämlich eine Spektrallinie erschien, desto dunkler war die entsprechende Fraunhofer'sche. Eine nur theilweise Uebereinstimmung ergab sich bei der Vergleichung der Spektra der Metalle: Zink, Baryum, Kupfer und Kobalt, da nur die hellsten Linien derselben mit dunkeln koindiziren; gar keine Uebereinstimmung mit Fraunhofer'schen Linien zeigen die Spektra folgender Metalle: Gold, Silber, Quecksilber, Antimon, Arsen, Zinn, Blei, Kadmium, Aluminium, Strontium und Lithium; das Gleiche gilt für die zwei nicht metallischen Elemente: Silicium und Sauerstoff.

Aus der Koincidenz heller Spektrallinien mit dunkeln des Sonnenspektrums ergiebt sich aber unmittelbar die Folgerung, daß die Dämpfe

jener Elemente, welche eine solche Uebereinstimmung zeigen, in der Photosphäre der Sonne enthalten sein müssen, da jene sonst ganz unerklärlich wäre; wenn man bedenkt, daß das Eisen allein einige sechzig Linien giebt, die vollkommen koincidiren, so muß man unbedingt der Meinung Kirchhoff's beipflichten, daß dies nicht ein Werk des Zufalls sein kann, sondern daß dieser Folgerung, wenn nicht mathematische Gewißheit so doch eminente Wahrscheinlichkeit nicht abgesprochen werden kann. Spektrallinien, welche mit den dunkeln des Sonnenspektrums keine Koincidenz zeigen, gehören Metallen an, deren Dämpfe in der Photosphäre nicht enthalten sind. — Einen ferneren Beleg für die Richtigkeit dieser Anschauung bildet ein Experiment, welches ebenfalls von Kirchhoff ausgeführt wurde; er ließ während der Beobachtung der Metallspektra durch die Dämpfe derselben volles Sonnenlicht fallen, die hellen Linien verwandelten sich sogleich in dunkle, die, wenn sie mit denen des Sonnenspektrums übereinstimmten, mit größter Sicherheit eine intensivere Schwärzung beobachten ließen, was mit dem bis jetzt Gesagten auch vollkommen im Einklange steht, da ja in diesem Falle eine Verstärkung der Absorption dadurch stattfinden muß, daß das Sonnenlicht vor dem Eintritte in den Spektralapparat nochmals eine absorbirende Schichte passiren muß.

Da wir bis in die Gegenwart auf gar keine andere Weise über die chemische Natur der Stoffe, welche den Sonnenkörper bilden, Aufschluß erlangen konnten, so muß es ein desto größeres Interesse haben, durch die Spektralanalyse Kenntniß von der materiellen Natur der Sonne erhalten zu können. Die vielen Tausend dunkeln Linien im Sonenspektrum lassen auf viele chemische Elemente schließen, von welchen wohl auch manche auf der Erde gar nicht vorkommen mögen, und uns daher gänzlich unbekannt sind, und es auch bleiben werden. Als eine große Errungenschaft muß es aber schon bezeichnet werden, daß wir durch diese Untersuchungen erfahren haben, welche von den Grundstoffen, die den Erdkörper bilden, auch in der Photosphäre der Sonne vorkommen, und welche darin fehlen. Ziehen wir eine Parallele zwischen der die Erde umgebenden Atmosphäre und der die Sonne umhüllenden Photosphäre, so finden wir, daß letztere, weil sie eine um so viel höhere Temperatur besitzt, viel mehr Stoffe im gasförmigen Zustande enthalten muß, und daß sich unter diesen solche befinden, welche wir nur im festen oder flüssigen Zustand zu sehen gewohnt sind; ebenso weist die Abwesenheit des Sauerstoffes darauf hin, daß die chemischen Verbindungen denen, welche in überwiegender Menge auf der Erde vorkommen, nicht gleichen können. Die chemische Beschaffenheit der den Kern der Sonne bildenden Massen bleibt unerforschlich.

Endlich mag noch erwähnt werden, daß der Mond und die Planeten und Satelliten, welche ihr Licht sowie die Erde von der Sonne empfangen, auch ein Spektrum geben, wie diese, während die Fixsterne eigenthümliche Spektra zeigen; in dem des Sirius werden zwei dunkle Linien, von welchen die eine im Grünen und die andere im Violetten liegt, beobachtet. Auch diese Untersuchungen werden unser Wissen über die Himmelskörper bereichern, wenn es gelungen sein wird, die denselben entgegenstehenden Schwierigkeiten zu besiegen.

Anwendung der Spektralanalyse.

Jede Entdeckung, die auf dem Gebiete der Naturwissenschaften gemacht wird, ist von hohem Werthe, und in gewisser Beziehung kann man sagen, daß alle Entdeckungen für die Wissenschaft den gleichen Werth besitzen. Im Allgemeinen gilt freilich jene für wichtiger, welche mehr Folgerungen gestattet, oder die Erreichung wissenschaftlicher Zwecke wesentlich fördert, oder eine Anwendung in der Praxis erlaubt; da dies aber mehr eine Frage der Zeit ist, so dürfte über den Werth einer Entdeckung, die in der Gegenwart gemacht wird, und deren Konsequenzen sich noch nicht beurtheilen lassen, kein Urtheil gefällt werden können. Die Geschichte der Wissenschaft ist reich an Fällen, daß Entdeckungen erst nach Jahrzehnten und oft erst noch viel später zur Geltung kamen. Wer dachte daran, als die große Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Elektricität entdeckt wurde, daß durch Anwendung derselben die Korrespondenz auf die größten Distanzen und in so kurzer Zeit je möglich sein werde. Die Versuche, die hierüber in England angestellt wurden, fanden wenig Anklang, ja sie wurden sogar von Manchen belächelt; heute zu Tage ist die Sache freilich anders, der Draht, welcher den elektrischen Strom leitet, ist beinahe schon über die ganze Oberfläche der Erde ausgebreitet, und wird bald alle Erdtheile mit einander verbinden. Vom Standpunkte der Nützlichkeit sind dann solche Entdeckungen wichtiger als andere, deren Anwendbarkeit erst die Zukunft erproben wird.

Seit Newton die Zerlegung des Sonnenlichtes in das prismatische Farbenbild gelehrt hat, wurden auf diesem Gebiete viele Entdeckungen gemacht, die, obgleich von größtem theoretischen Werthe, in der Praxis keine nennenswerthe Verwendung fanden; und so blieb es bis zu Ende des jüngst verflossenen Decenniums, erst in den letzten sieben Jahren entwickelte sich auf Grundlage dieser Entdeckungen die Methode der Spektralanalyse, welche wir heute als eines der schätzenswerthesten Mittel chemische Stoffe zu erkennen, bezeichnen müssen.

In den früheren Abschnitten wurden beiläufig die Grenzen angegeben, bis zu welchen die Spektralanalyse dem Chemiker und Physiker praktische Forschungen gestattet, es wurde gezeigt, welche Metalle sich leicht mit Hülfe des Spektralapparates erkennen lassen, wie eine Unterscheidung und Erkennung der verschiedenen Gasarten möglich ist, und welche Schlüsse sich aus Spektralbeobachtungen auf die materielle Natur des Sonnenkörpers ziehen lassen. Jetzt soll gezeigt werden, wie durch diese Methode dem Mineralogen und Geologen ein Mittel an die Hand gegeben ist, in Mineralien und Gesteinsarten, in Quellen und Mineralwässern gewisse Stoffe zu erkennen, ohne den langen Weg der qualitativen chemischen Analyse zu betreten. Das was für die meisten schweren Metalle die Löthrohrprobe, das ist für die Metalle der Alkalien und alkalischen Erden, sowie für einige schwere Metalle die Spektralprobe; letztere kann in mancher Beziehung die erstere ergänzen, und zu Aufschlüssen über die chemische Zusammensetzung führen. Die Ausführung der Untersuchung ist nicht schwieriger als die

Handhabung des Löthrohres. Aber auch dem Chemiker, dem Physiologen und Arzte wird die Spektralanalyse ein schätzbares Mittel bieten, um Flüssigkeiten und Aschen pflanzlichen und thierischen Ursprungs zu untersuchen.

Anwendung bei der Untersuchung von Gesteinen und Mineralwässern.

Lange Zeit glaubte man, daß die Metalle der Alkalien im Mineralreiche gar nicht vorkommen, und daß das schon lange bekannte Oxyd des Kaliums ausschließlich nur im Pflanzenreiche zu finden sei. Klapproth stellte durch die Resultate der Untersuchung von Leuzitkrystallen, die sich außerordentlich häufig in den schlackigen Laven vom Vesuv eingeschlossen finden, den Gegenbeweis dadurch her, indem er in diesen Krystallen einen Kaligehalt von 21 Proc. entdeckte. Später wurde Kali im Lepidolithe und dann im Feldspathe aufgefunden. Im Jahre 1818 fand Arfedson im schwedischen Petalit ein anderes in seinen Eigenschaften mit dem Kalium große Aehnlichkeit zeigendes Metall, nämlich das Lithium, und war der Meinung, daß dieses einzig und allein nur im Mineralreiche zu finden sei. Seitdem wurden beide Metalle in so vielen Mineralien, Salzsoolen, Quellwässern, Pflanzenaschen, ja sogar in Flüssigkeiten des thierischen Organismus aufgefunden, daß dieselben zu den am weitesten verbreiteten Stoffen zu zählen sind. Die Auffindung dieser sowie auch anderer ähnlicher Metalle war, wenn dieselben nur in sehr geringer Menge vorkamen, stets mit vielen Schwierigkeiten verknüpft, und erforderte in allen Fällen zeitraubende Operationen; noch schwieriger war die Trennung, wenn mehrere Alkalimetalle in geringer Menge gemeinschaftlich in einem Minerale enthalten waren. Alle diese Schwierigkeiten entfallen nun bei Anwendung der Spektralanalyse; ein einfacher Apparat wie der Fig. 9 auf Seite 44 abgebildete und einige wenige leicht auszuführende Operationen ermöglichen den Nachweis dieser Metalle auf eine kurze und einfache Weise.

Bunsen und Kirchhoff haben in ihrer ersten Abhandlung über die chemische Analyse durch Spektralbeobachtungen das Verfahren angegeben, nach welchem die qualitative Prüfung auf die Metalle der Alkalien und alkalischen Erden auszuführen ist. Dasselbe soll nun im folgenden mitgetheilt werden; um jedoch eine Uebersicht zu gewinnen, auf welche Körper sich die Untersuchung ausdehnen kann, so sollen die Mineralien, welchen die Aschen von pflanzlichen und thierischen Stoffen, sowie die verschiedenen natürlich vorkommenden Wasser füglich angeschlossen werden können, in zwei Gruppen abgetheilt werden; die erste Gruppe umfaßt jene Körper, welche entweder für sich ohne jede weitere chemische Behandlung, oder durch Anwendung von wässeriger Salzsäure die Spektralreaktionen geben; jene Mineralien aber, welche eine vorbereitende chemische Behandlung erfordern, bilden die zweite Gruppe.

Zur ersten Gruppe gehören die Mineralwasser und Soolen, die Mutterlaugen von den verschiedenen Krystallisationen und das Meerwasser, sodann die Aschen von Pflanzen und von thierischen Stoffen, endlich viele Mineralien; zu diesen sind zu zählen die meisten salinischen Gesteine nämlich die kohlensauren, schwefelsauren, borsauren und salpetersauren Salze wie Kalk-

spath, Dolomit, Witherit, Strontianit, Gyps, Polyhalit u. s. f., dann viele Chlorverbindungen wie Steinsalz, Sylvin und die in Staßfurth entdeckten Mineralien Karnallit und Tachydrit, sodann viele wasserhaltige Silikate, welche der Gruppe der Zeolithe angehören wie Analzim, Kreuzstein u. v. a., ebenso auch wasserfreie Silikate wie der Leuzit und Nephelin; endlich mannichfache Körper des Mineralreiches, welche durch Verwitterung von Gesteinen entstanden sind, wie die verschiedenen Thonarten. — Zur zweiten Gruppe gehören einige schwefelsaure und phosphorsaure Salze, und die meisten schwer zersetzbaren Silikate, zu welchen der Feldspath und viele andere gehören. Aus dieser keineswegs vollständigen Aufzählung kann leicht entnommen werden, daß das Gebiet, in welchem die Spektralanalyse nützlich verwendet werden kann, kein beschränktes ist, und daß sie bei der chemischen Untersuchung von Mineralien wichtige Dienste leisten kann.

Will man ein Mineralwasser untersuchen, so dampft man eine Quantität hiervon ab, und zwar so weit, bis sich ein Theil der gelösten Substanzen im festen Zustande abgeschieden hat; man gießt sodann die noch vorhandene Flüssigkeit, welche alle leicht löslichen Stoffe enthält, vorsichtig ab, und schabt den unlöslich ausgeschiedenen Theil, der sich meistens an die Wand der Abdampfschale angesetzt hat, mit Hülfe eines Platinspatels oder eines Glasstabes auf ein Häufchen zusammen; durch vorsichtiges Neigen der Schale kann man es leicht dahin bringen, daß auch die in diesem noch enthaltene Flüssigkeit abfließt. Um die Spektralreaktion vorzunehmen, bedient man sich eines dünnen Platindrahtes, an dessen einem Ende man vorher eine kleine Schlinge gebogen hat, bringt auf dieselbe die zu untersuchende Masse, und hält sie in den Saum der Flamme, die vor dem Spalte des Spektralapparates steht. In vielen Fällen, besonders wenn man auf das Vorhandensein von alkalischen Erdmetallen prüft, ist es angezeigt, die Substanz mit einem Tropfen Salzsäure zu befeuchten. Die Spektra jener Metalle, welche in relativ größerer Menge vorhanden sind, sowie die der schwerer flüchtigen werden länger sichtbar bleiben, als die der in geringerer Menge vorhandenen oder leichter flüchtigen. Die von dem durch das Eindampfen erhaltenen unlöslichen Theil abgegossene Flüssigkeit, die Mutterlauge, enthält alle Substanzen, welche leicht löslich sind, nunmehr in einem koncentrirten Zustande. Bringt man diese Mutterlauge gänzlich zur Trockne, und behandelt sie dann ebenfalls so, wie gerade angegeben wurde, so wird man auch die darin enthaltenen Metalle leicht erkennen können. Will man Substanzen auffinden, die nur in sehr geringer Menge in dem zu untersuchenden Wasser enthalten sind, so ist es nothwendig größere Quantitäten einzudampfen; so mußten Kirchhoff und Bunsen die Mutterlauge von 44200 Kilogrammen des Soolwassers von Dürkheim in der Rheinpfalz in Arbeit nehmen, um etwas mehr als 7 Gramme Chlorcäsium zu erhalten. Stoffe, die wie eben angegeben, in so äußerst geringer Menge vorkommen, sind oft selbst bei stärkerer Koncentration durch den Spektralapparat noch nicht aufzufinden, und es muß in solchen Fällen der Versuch gemacht werden, dieselben aus der großen Masse von Flüssigkeit unlöslich auszuscheiden. Für Kalium, Rubidium und Cäsium ist eine Lösung von zweifach Chlorplatin ein geeignetes Füllungsmittel, da sich auf Zusatz dieser Lösung unlösliche Doppelverbindungen, aus den Chlormetallen und zweifach Chlorplatin bestehend, bilden; in kochendem Wasser sind diese

gelben Niederschläge in geringer Menge löslich, die Kaliumverbindung leichter, die Cäsiumverbindung am wenigsten. Hat man in einer Flüssigkeit Kalium schon gefunden, und will man dieselbe auf Cäsium und Rubidium prüfen, so kann man diese zwei Metalle auch durch die Lösung von Chlorkalium-Chlorplatin fällen, da die Entstehung eines Niederschlages in diesem Falle auf ihr Vorhandensein schließen läßt.

Nach diesem Verfahren, durch welches die zwei zuletzt genannten Metalle entdeckt wurden, hat man dieselben auch in vielen anderen Mineralquellen aufgefunden; so z. B. in der Mutterlauge der Saline Kissingen, in der Ungemachquelle von Baden-Baden, im Quellwasser des Kochbrunnens von Wiesbaden, in der Soole und deren Mutterlauge der Saline Nauheim in der Wetterau, in den Salzsoolen von Ebensee und Außee u. s. f. Rubidium wurde außerdem in den Rückständen von der Bereitung des Rohrzuckers aus Runkelrüben, welche gewöhnlich zur Gewinnung von Kalisalzen verwendet werden, ferners in der Asche des Tabacks von Kentucky und Havanna, ebenso in der des Kaffees und endlich auch in den Mutterlaugen von der Weinsteinbereitung aufgefunden.

Oft findet eine Koncentration von Substanzen, die nur in äußerst geringer Menge vorkommen, auf eine von uns ganz unabhängige Weise statt, dies geschieht nämlich durch die Bildung von Absätzen; hierher ist der Sinter, der Kesselstein u. s. f. zu rechnen. Im Kesselstein von Dampfkesseln, welche mit Meerwasser gespeist wurden, hat man Strontium, in dem Karlsbader Sprudelstein Arsen gefunden. — Die Mutterlaugen, die man bei der Gewinnung der Weinsteinsäure erhält, enthalten nicht unerhebliche Mengen von Lithium, und können daher, sowie die von Salzsiedereien, in welchen ebenfalls Verbindungen dieses hoch im Preise stehenden Metalles vorkommen, zur Ausbringung desselben benutzt werden. Lithium findet sich überdies auch in den meisten Tabacksorten, in der Milch und im Blute.

Wiewohl die spektralanalytische Untersuchung der Mineralien nur die Gegenwart oder Abwesenheit der Metalle der Alkalien und alkalischen Erden erweisen kann, so ist doch dies allein schon in vielen Fällen von großer Wichtigkeit, weil gerade diese Metalle, wenn sie in geringer Menge vorkommen, sich auf anderem Wege nicht so leicht nachweisen lassen, und der Unterschied mancher Mineralspecies eben dadurch bedingt ist, daß sie das eine oder das andere Metall in ihrer chemischen Zusammensetzung enthalten. Behufs der Untersuchung pulvert man die Mineralien in einer kleinen Reibschale, und bringt sie mit Wasser oder Salzsäure befeuchtet in die Flamme; viele Mineralien geben bei dieser Behandlung Spektralreaktionen, alle kohlensauren Salze und manche schwefelsaure, wie der Baryum enthaltende Schwerspath, geben die Reaktion leicht, andere wie Gyps etwas schwieriger; der Cölestin aus schwefelsaurem Strontian bestehend, giebt dieselbe weder für sich noch mit Salzsäure befeuchtet. Solche schwefelsaure Salze müssen vorher in Schwefelmetalle und sodann mittelst Salzsäure in Chlormetalle umgewandelt werden; die Umwandlung in Schwefelmetalle gelingt sehr leicht, wenn man das Mineral in dem inneren reducirenden Theile einer Löthrohrflamme erhitzt; die chemische Verbindung wird hierdurch ihres Sauerstoffes beraubt, und in eine Verbindungsstufe übergeführt, die durch Salzsäure leicht zersetzt werden kann.

Silikate, welche durch Salzsäure zersetzt werden können, sind in vielen Fällen leicht zu unterscheiden. Der Barytkreuzstein enthält Baryum

mit wenig Kalcium, der Kalkkreuzstein Kalcium und Kalium, der Natrolith enthält Natrium, der ihm sehr ähnliche Mesotyp Kalcium; Leuzit und Analzim unterscheiden sich ebenfalls, indem der erstere Kalium, der letztere hingegen Natrium enthält. Der dem Apatit täuschend ähnlich sehende Nephelin enthält Natrium und Kalium, während letzterer nur Kalcium erkennen läßt. Ueber das Auffinden des Natriums muß bemerkt werden, daß wegen der großen Empfindlichkeit der Reaktion beinahe jedes Mineral dieselbe giebt, dessenungeachtet kann aber doch aus der Intensität, mit welcher die Reaktion auftritt, immerhin ein Schluß gezogen werden, ob dasselbe in verschwindend kleiner und unwägbarer oder in bestimmbarer Menge in einem Minerale vorkommt; überhaupt wird derjenige, welcher sich in dieser Untersuchungsmethode Uebung erworben hat, auch immer durch die Reaktion die Belehrung finden, ob ein Metall nur als Spur oder in reichlicher Menge vorhanden ist.

Alle Mineralien, welche jedoch weder für sich noch nach der Behandlung mit Säuren Spektralreaktionen geben, müssen einer chemischen Zersetzung unterworfen werden. Diese geschieht am besten nach dem von Bunsen angegebenen Verfahren, das sich durch Einfachheit und Zweckmäßigkeit auszeichnet, und mittelst dessen die schwer zersetzbaren Silikate auf Alkalien und alkalische Erden geprüft werden können. Es kommen hierbei besonders zwei Mittel in Anwendung, nämlich das Schmelzen mit kohlensaurem Natron, oder das Erhitzen mit Fluorammonium; da jedoch bald das eine bald das andere leichter zum Ziele führt, so soll die Art der Untersuchung für jedes Metall angegeben werden.

Unter den schwer zersetzbaren Silikaten nehmen die an Alkalien reichen Feldspathe den ersten Rang ein, sie bilden im Mineralreiche eine große und weit verbreitete Gruppe; man unterscheidet viele Arten, welche zwar alle denselben Typus der chemischen Zusammensetzung haben, aber außer Thonerde und Kieselsäure stets noch ein oder mehrere Oxyde der Metalle der Alkalien oder alkalischen Erden enthalten, durch deren Qualität die Verschiedenheit der Arten bedingt ist. Der Orthoklas oder Kalifeldspath enthält vorzugsweise Kali, aber auch Natron, Kalk und sogar Baryt wurden in demselben schon nachgewiesen; der Albit oder Natronfeldspath enthält vorzugsweise Natron, zwischen beiden steht als Mittelspecies der Periklin, in welchem Kali und Natron vorkommen; im Labrador herrscht Kalk vor. Will man nun erfahren, welche Oxyde in einem Feldspath enthalten sind, oder welches vorherrscht, so muß man denselben aufschließen, d. h. löslich machen, wozu man sich des kohlensauren Natrons, und soll auf Natrium geprüft werden, des kohlensauren Kalis bedient.

Zur Ausführung des Versuches verwendet man eine konische Spirale aus feinem Platindraht, welche man über einer Gasflamme so befestigt, daß die Spitze des Konus nach abwärts gekehrt ist; sodann bringt man dieselbe in Glühhitze, und taucht sie in gepulvertes, halb entwässertes, reines, kohlensaures Natron, und erhitzt sie wieder über der Flamme, wodurch dasselbe zum Schmelzen gebracht wird. Ist dies geschehen, so giebt man auf die mit dem geschmolzenen kohlensauren Natron bedeckte Spirale eine ganz geringe Menge des auf das feinste gepulverten Feldspathes, und setzt das Glühen einige Minuten fort. Ist die Temperatur hoch genug, so wird sich das Feldspathpulver im kohlensauren Natron auflösen, und die

geschmolzene Masse gegen die Spitze der Spirale herabsinken, in welcher sie sich als ein Tropfen ansammeln wird; wendet man die Spirale um, so wird dieser herausfallen, und nach dem Abkühlen als glasige Perle erscheinen.

Um dieselbe für die Spektralreaktion noch weiter vorzubereiten, wickelt man sie in ein steifes und glattes Schreibpapier, zerdrückt sie mit einer elastischen Messerklinge, giebt das entstandene Pulver in ein kleines Gläschen, und übergießt es mit wenig heißem Wasser; das Kali und das angewendete Natron lösen sich in demselben, während die Hauptmenge der Kieselsäure, die Thonerde und die allenfalls vorhandenen Erden Kalk und Baryt als kohlensaure Salze ungelöst zurückbleiben. Zur Beförderung der Auflösung rührt man einige Male um, läßt sodann absetzen, gießt die klare Flüssigkeit ab, und verwendet sie zur Spektralreaktion. Das Ungelöste wäscht man einige Male mit heißem Wasser aus, gießt dasselbe vollkommen ab, und befeuchtet mit Salzsäure; bringt man den so vorbereiteten unlöslichen Rückstand in die Flamme, so kann die Gegenwart von Kalk oder Baryt oder von beiden leicht erkannt werden. Will man auf Natrium prüfen, so verwendet man zum Aufschließen kohlensaures Kali, verfährt aber im Uebrigen auf ganz gleiche Weise.

Handelt es sich um den Nachweis von ganz geringen Mengen von Kali, so mischt man den fein gepulverten Feldspath mit Fluorammonium, und glüht die Mischung auf einem Platindeckel; die geglühte Masse giebt unmittelbar, wenn sie in Flamme gebracht wird, die Reaktionen auf Kali, Natron und Lithion. Die meisten Feldspathe und feldspathhaltigen Gebirgssteine werden durch die lange andauernde Einwirkung von Kohlensäure und Wasser zersetzt, oder mit andern Worten sie verwittern. Die Verwitterungsprodukte werden häufig von den Gewässern fortgeführt, der unlösliche Theil setzt sich aus diesen allmälig ab, und bildet dann Thonlager, welche je nach dem Grade ihrer Reinheit und der Qualität der zufälligen, fremden Beimischungen, Porzellanthon, Tegel, Thon, Lehm u. s. w. genannt werden. Häufig bildet Thon die Hauptmasse des Ackerbodens, und dieser wird unter übrigens gleichen Umständen desto fruchtbarer sein, je größer sein Gehalt an Kalisalzen ist. Es ist daher für die Bodenanalyse von Wichtigkeit das Vorhandensein derselben nachweisen zu können; man erhitzt eine kleine Menge der thonigen Erde auf einem Platindeckel mit koncentrirter Schwefelsäure, und bringt die erhitzte Masse in die Flamme, selbst eine geringe Menge von Kali kann noch leicht an den charakteristischen Linien erkannt werden.

Lithium findet sich im Petalit, Triphylin und im Lithionglimmer neben Cäsium, Rubidium, Kalium und Natrium, und in vielen anderen Gesteinen. Manche Mineralien braucht man nur in eine nicht leuchtende Flamme zu halten, um das Lithium an der schön karmoisinrothen Farbe, welche es derselben ertheilt, leicht zu erkennen. Da dies jedoch nicht immer der Fall ist, und bei Gegenwart von Natron die Färbung nicht beobachtet werden kann, so ist es zum Nachweis dieses Metalles nothwendig, eine kleine Menge des sehr fein gepulverten Minerales mit Fluorammonium zu mischen, die Mischung auf einem Platindeckel zu glühen, und die geglühte Masse in einem kleinen Gläschen mit Weingeist zu übergießen. Nachdem dieselbe mit einem Glasstabe einige Male umgerührt wurde, läßt man absetzen, gießt den Weingeist auf ein Uhrglas, und

überläßt ihn der Verdunstung. Da das entstandene Fluorlithium in Weingeist löslich ist, so wird nach dem Verdunsten desselben auf dem Uhrglase ein Anflug zurückbleiben, welcher zusammengeschabt und in die Flamme gebracht das Lithium spektraliter erkennen läßt.

Will man auf geringe Mengen von Kalcium, Baryum und Strontium prüfen, so schließt man die Mineralien am besten auf die vorhin beschriebene Art mit kohlensaurem Natron auf, und laugt die geschmolzene und gepulverte Masse mit heißem Wasser aus; der unlösliche Rückstand, welcher die zu suchenden Körper als kohlensaure Salze enthält, wird nunmehr auf einem Deckel aus Platin oder Porzellan gebracht, mit einigen Tropfen Salpetersäure befeuchtet, vorsichtig bis zur Trockne abgedampft, und die eingetrocknete Masse mit Weingeist übergossen, nachdem man sie zuvor in ein kleines Gläschen gebracht hat. Durch die Behandlung mit Salpetersäure werden die kohlensauren Salze in salpetersaure übergeführt, und da salpetersaurer Kalk in Weingeist löslich, das Baryt und Strontiansalz hingegen unlöslich ist, so sind durch diese Operation die letzteren vom ersteren getrennt. Läßt man die weingeistige Lösung verdunsten, so erhält man einen Rückstand, der nun auf Kalcium zu prüfen ist. Das im Weingeist Unlösliche wird mit Chlorammonium gemischt, und auf einem Platindeckel geglüht, wodurch die salpetersauren Salze in Chlormetalle umgewandelt werden, die abermals mit hochgradigem Weingeist behandelt eine Lösung geben, welche Chlorstrontium enthält, und einen unlöslichen Rückstand, der aus Chlorbaryum besteht. Beide können spektraliter leicht unterschieden werden. Wollte man nur auf Spuren von Kalcium prüfen, so genügt es das feingepulverte Mineral mit Fluorammonium zu mischen, auf einem Platindeckel zu glühen, mit einigen Tropfen Schwefelsäure zu befeuchten, wieder zu glühen, und die so behandelte Masse mit Salzsäure befeuchtet in den Saum der Flamme zu halten. Sollte die Reaktion gar nicht oder nur undeutlich auftreten, so hält man die behandelte Masse in den reducirenden Theil einer Flamme, befeuchtet sie wieder mit Salzsäure, und prüft durch den Spektralapparat; zeigt sich auch in diesem Falle keine Kalciumreaktion, so ist auch in dem Minerale kein Kalk enthalten.

Das eben Mitgetheilte dürfte hinreichende Anhaltspunkte bieten, um den Gang der Untersuchung verständlich zu machen, und um zu zeigen, daß nach dieser Methode mit wenigen Hülfsmitteln die qualitative Analyse auf die genannten Metalle leicht durchgeführt werden kann, und daß dieselbe hiermit, da man nicht mehr als nur einige Milligramme des zu untersuchenden Minerales benöthigt, und es nie nöthig ist, die einzelnen Körper vollständig von einander zu trennen, auch den wesentlichen Vortheil bedeutender Zeitersparniß verbindet.

Um die zwei in neuester Zeit durch die Spektralanalyse entdeckten Metalle Thallium und Indium, welche zu der Gruppe der schweren Metalle gehören, nachzuweisen, müssen andere Verfahren in Anwendung gebracht werden, deren Ausführung jedoch mit keinen großen Schwierigkeiten verbunden ist.

Das Thallium wurde von Crookes im Jahre 1862 endeckt; er fand es zuerst im Schlamme, der sich in den Bleikammern einer Schwefelsäurefabrik absetzte; dieses Vorkommen veranlaßte zunächst die Untersuchung der zur Fabrikation der Schwefelsäure verwendeten Rohmaterialien, welche ergab, daß der hierzu verwendete Schwefelkies thalliumhaltig war. Wird

nämlich Schwefelkies behufs der Darstellung von schwefeliger Säure verbrannt, so verflüchtigt sich mit dieser auch das Thallium als schwefelsaures Salz und gelangt in die Bleikammern; der größere Theil setzt sich in denselben ab, und findet sich dann im Schlamme, während der kleinere Theil in der Schwefelsäure gelöst bleibt, und aus dieser sogar in die Salzsäure übergeht, wenn solche thalliumhaltige Schwefelsäure zu ihrer Bereitung verwendet wurde. Aus der schwefeligen Säure setzt sich vor ihrem Eintritte in die Bleikammern eine große Menge der mitgerissenen und verflüchtigten Theilchen als feiner Flugstaub ab, welcher größtentheils aus schwefelsaurem Eisenoxyd besteht, und geringe Mengen von Thallium enthält; aus solchem Flugstaube haben Böttger und Crookes Thallium gewonnen, letzterer nahm hundert Centner Flugstaub in Arbeit, und erhielt hieraus fünfundzwanzig Pfund metallisches Thallium. Es scheint ein in der Natur ziemlich weit verbreiteter Körper zu sein, wiewohl es nur immer in geringer Menge gefunden wurde; Bischof in Lausanne fand dieses Metall in einem Braunstein von unbekanntem Fundorte, Schrötter hat es im Lepidolith aus Mähren und im Glimmer aus Zinnwald nachgewiesen, Böttger fand dasselbe im Wasser des Sprudels von Nauheim, in der Soole von Dürenberg und im Kelp, Mulder in einem Mineralwasser von Java. Ein Materiale, welches reichlich Thallium enthält, wurde von Bunsen entdeckt, es ist dies die Zinkvitriollauge, welche durch Rösten und Auslaugen von zinkblendereichen Rammelsberger Bleierzen zu Goslar am Unterharz gewonnen wird; derselbe giebt auch das Verfahren an, nach welchem auf einfache Weise das Thallium gewonnen werden kann.

Wiewohl dieses Metall kaum vier Jahre bekannt ist, so ist doch das chemische Verhalten desselben schon gründlich untersucht; thalliumhaltige Lösungen, wie z. B. die oben angeführte Zinkvitriollauge, geben auf Zusatz von Salzsäure einen Niederschlag von Chlorthallium, welcher sehr schwer löslich ist, durch Jodkalium wird gelbes Jodthallium gefällt; Schwefelwasserstoff fällt aus der ammoniakalischen Lösung braunes Schwefelthallium, aus der sauren Lösung ist es durch Schwefelwasserstoff nicht fällbar; durch Zink wird es aus seinen Lösungen vollständig und metallisch niedergeschlagen. Das angeführte Verhalten bietet Anhaltspunkte genug, bei einer Prüfung auf Thallium den geeigneten Weg einzuschlagen. Bei einem sehr geringen Gehalte ist die Fällung durch Zink empfehlenswerth, da durch dieselbe die Arbeit bedeutend erleichtert wird; die gefällte Masse, welche ein vielmal kleineres Volumen darbietet, kann außer zufällig vorhandenen edlen Metallen noch Kupfer, Blei, Kadmium und Thallium enthalten. Behandelt man dieselbe mit verdünnter Schwefelsäure in der Wärme, so lösen sich nur Kadmium und Thallium, während alle andern Metalle ungelöst bleiben; aus der schwefelsauren Lösung läßt sich nun das Thallium entweder mittelst Salzsäure oder Jodkalium fällen; der Niederschlag kann direkt zur Spektralreaktion benützt werden. Da die Spektralreaktion auf Thallium sehr empfindlich ist, die grüne Linie seines Spektrums sich durch große Helligkeit und scharfe Begrenzung auszeichnet, und eine Verwechselung mit einer andern grünen Linie nicht leicht stattfinden kann, so wird auch der Nachweis dieses Metalles, wenn das angegebene Verfahren befolgt wurde, leicht gelingen.

Das Indium wurde von Reich und Richter im Jahre 1863 in der Freiberger Zinkblende entdeckt, Schrötter fand es in der Blende von Schönfeld bei Schlaggenwald; es wurde bis jetzt nur in Zinkerzen gefunden,

und geht aus diesen in das daraus bereitete Zink über. Um es nachzuweisen, bereitet man sich eine schwefelsaure Lösung, indem man das zu untersuchende Mineral röstet, schlemmt und sodann mit konzentrirter Schwefelsäure behandelt. Will man Zink auf Indium prüfen, so löst man in verdünnter Schwefelsäure. Aus einer solchen Lösung kann das Indium durch Zink metallisch, durch ätzendes Ammoniak oder frischbereiteten kohlensauren Baryt als Oxydhydrat, und durch Schwefelwasserstoff, wenn die Lösung hinreichend mit Wasser verdünnt wurde, als gelbes Schwefelindium gefällt werden. Das als Metall oder Oxydhydrat gefällte Indium löst man in Salzsäure, uud koncentrirt die Lösung; dieselbe kann zur Spektralreaktion verwendet werden, ebenso auch das Schwefelindium. Keines von den allfällig noch vorhandenen Metallen, ist für die Beobachtung des Indiumspektrums so hinderlich als das Zink, da es selbst eine große Anzahl blauer Linien giebt; aus diesem Grunde ist es nothwendig die Fällung mehrmals zu wiederholen.

Anwendung der Absorptionsspektra in der chemischen Analyse.

Es ist eine schon lange bekannte Thatsache, daß Gase, Flüssigkeiten und feste Körper, wenn sie farbig und durchsichtig sind, nicht jede Art von Lichtstrahlen durchlassen, sondern für manche undurchdringbar sind. Da wir nun wissen, daß die verschiedenartigen Lichtstrahlen sich durch die Sinne je nach ihrer Farbe oder Brechbarkeit unterscheiden lassen, und daß diese Eigenschaften mit der Wellenbewegung in einem bestimmten und unveränderlichen Zusammenhange stehen, so sind wir zu der Annahme genöthigt, daß ein farbiges Medium, wenn dasselbe einem Lichtstrahle den Durchgang nicht gestattet, auf die Wellenbewegung desselben einen Einfluß ausübt, und diese derart verändert, daß sie einen Lichteindruck nicht mehr bewirken kann. Man nennt diese Erscheinung Absorption des Lichtes. Um zu erfahren, welche Lichtstrahlen von einem farbigen Körper absorbirt werden, ist es nothwendig das farblose Licht in seine farbigen Strahlen durch ein Prisma zu zerlegen, und den Einfluß zu beobachten, welchen jener auf diese ausübt. Zu diesem Zwecke entwirft man ein Sonnenspektrum nach der in einem früheren Abschnitte angegebenen Weise, und läßt das Licht, nachdem es durch die Spalte eingedrungen ist, den farbigen Körper passiren, indem man denselben dicht hinter der Spalte aufstellt; Flüssigkeiten und Gase werden am besten in einem Gefäße eingeschlossen, welches einen rechteckigen Querschnitt besitzt, und aus fein geschliffenen Glasplatten zusammengesetzt ist, von welchen je zwei gegenüberstehende vollkommen parallel sein müssen. Arbeitet man mit wässerigen Lösungen, so müssen die Glasplatten mit Schellack aufgekittet sein, um mit alkoholischen und ätherischen Lösungen zu experimentiren ist als Kitt Hausenblase anzuempfehlen. Unter den festen Körpern sind

besonders die farbigen Gläser sehr geeignet Absorptionserscheinungen hervorzubringen, ihre Wirkung auf das Sonnenspektrum ist jedoch sehr verschieden; während einige beinahe alle farbigen Strahlen durchdringen lassen, beschränken andere deren Durchgang mehr oder weniger. Gläser, welche nur Strahlen von einer Farbe, nämlich von einer Wellenlänge, also gleichartiges Licht, durchlassen, kennt man nicht; denn wäre dies der Fall, so müßte das Absorptionsspektrum aus einem einzigen farbigen Streifen von der Breite des Spaltes mit scharfer Begrenzung bestehen; es giebt also auch keine einfarbigen Gläser im strengen Sinne des Wortes, da die in dieser Beziehung besten Gläser immer Strahlen verschiedener Brechbarkeit durchlassen. Daß bei diesen Beobachtungen die Helligkeit des Sonnenspektrums, die Fähigkeit des Auges des Beobachters sehr geringe Farbenunterschiede noch wahrzunehmen, sowie die Fluorescenzwirkung, welche gewissen Gläsern zukommt, und deren Dicke und Reinheit von großem Einflusse sind, bedarf wohl keiner weiteren Erörterung.

Das größte Absorptionsvermögen besitzen die rothen mit Kupferoxydul gefärbten Gläser, die als Rubingläser bekannt sind; sie lassen nur die rothen und einen ganz geringen Theil der orangengelben Strahlen durch, und können aus diesem Grunde mit Vortheil zur Abblendung der übrigen farbigen Strahlen benutzt werden. Die mit Eisenoxyd orangengelb, mit antimonsaurem Kali rauchgelb, und die mit Kupferoxyd oder Chromoxyd grün gefärbten Gläser lassen den größten Theil des Spektrums durch; die mit Kobaltoxydul blau gefärbten Gläser zeigen die Eigenthümlichkeit, daß sie einzelne Theile der Farben des Spektrums durchlassen, andere hingegen absorbiren, so daß man ein Spektrum erhält, welches von mehreren dunklen Streifen unterbrochen ist. Young erhielt bei der Untersuchung eines blauen Glases ein Absorptionsspektrum, welches aus 7 farbigen Streifen bestand, 2 rothen und je einem grünlichgelben, grünen, blauen, blauvioletten und violetten, diese Streifen waren durch dunkle Bänder von einander getrennt. Andere hellblaue oder grünlichblaue Gläser geben ein ununterbrochenes Spektrum von Roth bis Violett, nur ist das Gelb und Grün in seiner Farbe modificirt, und erscheint apfelgrün. Tiefblau gefärbte Gläser sind für das Licht einer durch Kochsalz gelb gefärbten Weingeistflamme undurchdringlich, während sie die violette Färbung, die in einer solchen Flamme durch Kalisalze hervorgebracht werden kann, ganz deutlich erkennen lassen; diese Verschiedenheit des Verhaltens wird auch benützt, um die Gegenwart von Kali in Natronverbindungen zu erkennen.

Noch mannichfaltiger sind die Absorptionserscheinungen, welche durch gefärbte Lösungen hervorgebracht werden können. Von den vielen Arbeiten, die über diesen Gegenstand bis jetzt ausgeführt wurden, sind zwei hervorzuheben; die eine von G. Valentin erschien im Jahre 1863 unter dem Titel „der Gebrauch des Spektroskopes zu physiologischen und ärztlichen Zwecken", die andere wurde von J. Haerlin in Tübingen im selben Jahre im 118ten Bande von Poggendorf's Annalen unter dem Titel „über das Verhalten einiger Farbstoffe im Sonnenspektrum" veröffentlicht. Beide Arbeiten enthalten viele interessante und sehr schätzenswerthe Thatsachen, die im hohen Grade geeignet sind, die allgemeine Aufmerksamkeit auf diesen Gegenstand zu lenken, und die praktische Anwendung der Absorptionsspektra anzubahnen; aber das Gesammtergebniß derselben, in Beziehung auf ihre Verwendbarkeit in der chemischen Analyse, kann mit der Spektralanalyse der Metalle

in keine Parallele gestellt werden, da ja eben dasjenige, was dieser den höchsten Werth verleiht, nämlich daß in einem Gemenge von Metallverbindungen die einzelnen Metalle so leicht erkannt und unterschieden werden können, bei der Untersuchungsmethode durch Absorptionsspektra bisher nicht erreicht werden konnte. Bieten schon Lösungen bestimmter chemischer Stoffe eine Mischfarbe, so wird dies bei Lösungen, welche mehrere färbende Substanzen enthalten, in noch höherem Grade der Fall sein, da hierbei auch die quantitativen Mengungsverhältnisse Einfluß nehmen werden.

Abgesehen davon, daß farbige Stoffe, die in wechselnden Verhältnissen in einer Lösung enthalten sind, durch ihre Wirkung auf das Spektrum nicht unterschieden werden können, so sind schon die Lösungen einzelner Stoffe, wenn sie die gleiche oder ähnliche Farbe besitzen, auf optischem Wege schwer zu erkennen. Die Dicke der angewandten Flüssigkeitsschichte, der Konzentrationsgrad der Lösung, und die Helligkeit des Spektrums nehmen auf die Erscheinung einen nicht unbedeutenden Einfluß. Farbstofflösungen, seien sie aus Pflanzentheilen oder aus Extrakten bereitet, sowie die verschiedenen Tinkturen enthalten in den meisten Fällen nicht einen sondern mehrere Stoffe, die die Farbe der Lösung bedingen; je nach dem genommenen Rohmateriale, je nach der Bereitungsart, und je nachdem die Lösung der Einwirkung des Lichtes, der Wärme, der Luft u. s. f. ausgesetzt war, werden auch die Absorptionserscheinungen eine Modifikation erleiden. Ueberdies sind dieselben an und für sich nicht mit der Schärfe zu beurtheilen, wie vergleichsweise die hellen Spektrallinien der Metalle, da sie meist nur in der Abschwächung oder gänzlichen Auslöschung einzelner Theile des Spektrums bestehen, und die Uebergänge vom absorbirten zum unveränderten Theil des Spektrums, nämlich die Absorptionsgrenze, häufig nur mit geringer Genauigkeit bestimmt werden kann.

Läßt man die Lichtstrahlen, welche man zur Darstellung eines Spektrums benützt, erst durch farbige Gase gehen, so kann man Absorptionserscheinungen beobachten, welche sich von denen, die durch gefärbte Flüssigkeiten oder Gläser hervorgebracht werden, wesentlich unterscheiden. Während diese einzelne Farben des Spektrums verändern, abschwächen oder auslöschen, zeigen jene Absorptionsspektren, die nebst dem, daß die Farben eine größere oder geringe Aenderung erlitten haben, von einer oft sehr großen Anzahl dunkler Linien durchzogen sind, welche mit den Fraunhofer'schen große Aehnlichkeit haben, aber breiter und kräftiger erscheinen. Am schönsten sieht man diese Linien bei den Dämpfen der Untersalpetersäure und des Jodes, aber auch die Unterchlorsäure, das Brom und andere farbige Dämpfe lassen dieselben erkennen. Das farblose Dämpfe keine Absorptionslinien geben, ist vielfach erwiesen, daß es aber auch gefärbte giebt, die diese Erscheinung nicht bewirken, wie das grünlichgelbe Chlorgas, der rothe Dampf der Chlorchromsäure und die schönen rothen Dämpfe des sublimirenden Indigos ist eine nicht erklärte Thatsache.

Absorptionsspektra einiger Farbstoffe.

J. Haerlin hat in der vorher angeführten Abhandlung die Ergebnisse seiner Untersuchungen über Farbstofflösungen zusammengestellt; sie verdienen um so mehr eine weitere Verbreitung, als durch dieselben ein bisher noch nicht genug gewürdigtes Verfahren bekannt gemacht wird, Farbstofflösungen, die auf das Auge nahezu den gleichen Farbeneindruck machen, von einander zu unterscheiden; es dürfte daher von Interesse sein dieselben im Auszuge mitzutheilen.

Die Versuche bestätigen, daß bis jetzt kein Farbstoff gefunden wurde, welcher nur Lichtstrahlen von bestimmter Brechbarkeit absorbirt, oder nur Lichtstrahlen bestimmter Brechbarkeit verschont, daß also alle im weißen Lichte Mischfarben besitzen, und keinem die Eigenschaft zukommt, wirklich einfarbig zu sein. Ferner haben diese Untersuchungen ergeben, daß die Lichtabsorption in jedem Farbstoffe je nach der Brechbarkeit der denselben treffenden Lichtstrahlen, und je nach der Koncentration der Lösung eine andere ist. Haerlin faßt die Resultate seiner Untersuchungen in folgende drei Punkte zusammen:

1) Farbstoffe, welche in ihrer Mischfarbe in gewissen Koncentrationen im weißen Lichte nicht wohl zu unterscheiden sind, können total verschiedene Einwirkung auf einzelne Theile des Spektrums haben.
2) Nirgends zeigen sich so häufig kräftige Unterschiede in der Absorptionsintensität für benachbarte Spektraltheile als im Gelb und Gelbgrün.
3) Besonders gute Erkennung giebt die Spektraluntersuchung für folgende Farbstoffe: rothe, violette und blaue Anilinfarbstoffe, Blauholz, Fernambuk, Persio, Lakmus, Kochenille, Murexid, Limarothholz, Alizarin, Sandelholz, Indigo, Berlinerblau, Drachenblut, Safran, Orlean, Pikrinsäure, Kurkuma.

Um die Absorptionserscheinungen anschaulich zu machen, stellte Haerlin dieselben graphisch dar. Hierzu dienten zwei unter einem rechten Winkel zusammenstoßende Linien; auf der einen wurde das Spektrum und die Fraunhofer'schen Linien auf der andern die Koncentrationsgrade der angewandten Lösungen, in Kubikcentimeter ausgedrückt, aufgetragen. Die bei gleicher Dicke der Flüssigkeitsschichte, und bei verschiedener Verdünnung für einen Farbestoff gefundenen Absorptionsintensitäten wurden nun eingetragen, und durch eine Kurve verbunden. Auf diese Art ist die Abnahme der Absorption bei zunehmender Verdünnung, sowie auf welche Theile des Spektrums eine Absorption ausgeübt wird, deutlich ersichtlich gemacht. Bei manchen Farbstoffen ist der absorbirte Theil des Spektrums von dem andern scharf geschieden, bei anderen findet ein allmäliger Uebergang statt; im allgemeinen stellt sich heraus, daß ersteres meistens bei der Grenze gegen den gelben oder rothen Theil, letzteres aber gegen Blau und Violett der Fall ist.

Aus der graphischen Darstellung ist ferners noch ersichtlich, daß die Mehrzahl der untersuchten Farbstofflösungen bei völliger Koncentration gar kein Licht durchlassen, einige waren für rothe Lichtstrahlen und nur die

Pikrinsäure für rothe, orange, gelbe und grüne durchdringbar; bei zunehmender Verdünnung wird häufig der blaue und violette Theil zuerst sichtbar, indem sich die Absorption auf einen bestimmten Theil des Spektrums nämlich in den meisten Fällen auf den gelben und grünen beschränkt. Hiervon machen die Pikrinsäure, welche selbst bei großer Verdünnung noch immer den violetten Theil, und die Lösung von Berlinerblau in Oxalsäure, welche vorzugsweise den rothen Theil des Spektrums absorbirt, eine Ausnahme. Die äußerste Grenze der Verdünnung, welche noch eine Absorption erkennen läßt, ist für die einzelnen Farbstoffe sehr verschieden, manche übertreffen in dieser Beziehung andere um das Zehnfache. Bei mittlerer Verdünnung treten die eigentlichen Absorptionsstreifen auf, welche meist zwischen den Fraunhofer'schen Linien D und F oder doch wenigstens in deren Nähe liegen, und in der Begrenzung und Breite verschieden sind.

Im Folgenden sollen nun die Absorptionsspektra einiger wichtiger Farbstoffe beschrieben werden; zur Herstellung derselben wurden koncentrirte Lösungen von bekanntem oder unbekanntem Gehalte verwendet, im ersteren Falle ist die Quantität der Substanz in Grammen oder Milligrammen angegeben; sodann wurden die Flüssigkeiten zur Bestimmung der Abnahme der Absorptionsintensität verdünnt, und die Verdünnung in Kubikcentimeter ausgedrückt; sie bezieht sich auf die angewandte Menge des Farbstoffes oder der koncentrirten frisch bereiteten Lösung.

Rosein.

Die koncentrirte Lösung läßt rothes Licht von A bis C durch, und absorbirt alles übrige; 10 Milligr. in 100 Kubikc. gelöst absorbiren von D bis in die Mitte zwischen F und G, bei zunehmender Verdünnung wird dieser Absorptionsstreifen immer schmäler, bis er bei 1000 Kubikc. seine geringste Breite, genau zwischen D und E liegend, erreicht, welche er sodann bis zu seinem gänzlichen Verschwinden bei 6000 Kubikc. beibehält.

Anilinblau.

Die koncentrirte Lösung läßt nur rothes Licht durch; 20 Milligr. in 100 Kubikc. geben einen breiten Streifen zwischen C und E, der bei weiterer Verdünnung schmäler wird, und in dessen Mitte D liegt. Bei 160 Kubikc. hat er seine geringste Breite erreicht, wird bei zunehmender Verdünnung allmälig schwächer, und verschwindet bei einer Verdünnung auf 400 Kubikc. gänzlich.

Anilinviolett.

Das Absorptionsspektrum dieses Farbstoffes zeigt große Aehnlichkeit mit denen des Rosein und Anilinblau; der Absorptionsstreifen liegt jedoch zwischen den durch die eben genannten Farbstoffe hervorgebrachten, und zwar neben D gegen E hin, derselbe verschwindet für 10 Milligr. Substanz bei einer Verdünnung auf 600 Kubikc. Eine entsprechende Mischung von Rosein und Anilinblau zeigt das gleiche Verhalten.

Blauholz.

10 Kubikc. einer Abkochung von Blauholz, die nur rothes Licht durchließ, zeigte, auf 70 Kubikc. verdünnt, blau von F bis G. Der Streifen wird bei 180 Kubikc. nicht mehr schmäler, liegt zwischen D und E und verschwindet schon bei einer Verdünnung auf 240 Kubikc.

Fernambuk.

Eine Abkochung von Fernambuk läßt zuerst roth und orange, bei 160 Kubikc. Verdünnung auch blau und violett durch. Der Streifen liegt zwischen D und E nahe bei letzterer Linie und verschwindet bei 450 Kubikc.

Persio.

Eine koncentrirte Lösung von 1 Gramm Persio läßt roth durch, dann orange und gelb und giebt über D hinaus einen schmalen Streifen, der bis 230 Kubikc. Verdünnung sichtbar bleibt; sehr ähnlich verhält sich eine koncentrirte Lösung von Lakmus.

Kochenille.

10 Kubikc. eines neutralen Auszuges von 2,5 Gramm Kochenille absorbiren bei einer Verdünnung auf 250 Kubikc. von D bis H, bei 700 Kubikc. wird blau und violett durchgelassen, und es erscheint ein breiter von E bis F reichender Absorptionsstreifen, der erst bei 1500 Kubikc. Verdünnung verschwindet. — Ein vielmal verdünnterer und alkalisch gemachter Auszug von Kochenille besitzt ein noch größeres Absorptionsvermögen; bei 200 Kubikc. erscheint blau, bei 400 Kubikc. theilt sich der zwischen D und E liegende Streifen in zwei, der nahe bei E liegende verschwindet bei 700 Kubikc., der bei D liegende erst bei 1300 Kubikc. Verdünnung. Mit diesem Absorptionsspektrum hat das durch Alizarin hervorgebrachte Aehnlichkeit, nur liegen die beiden dunkeln Streifen näher an das Blaue.

Sandelholz.

Das Absorptionsspektrum dieses Farbstoffes ist sehr charakteristisch. Ein weingeistiger Auszug läßt zuerst roth, dann gelb, und bis 350 Kubikc. Verdünnung grün bis E durch; blau erscheint erst bei 550 Kubikc. Bei 600 Kubikc. theilt sich der von E bis über F hinaus sich erstreckende dunkle Streifen in zwei schmale, von welchen einer zwischen E und b liegt und erst bei Verdünnung auf 2000 Kubikc. verschwindet, während der andere, neben F gegen G hinliegend, etwas früher unsichtbar wird.

Schwefelsaurer Indigo.

Roth, blau, violett und grün werden nach und nach sichtbar, der Absorptionsstreifen liegt bei D gegen C hin, und verschwindet bei einer Verdünnung auf 500 Kubikc.

Berlinerblau in Oxalsäure.

Abweichend von allen bisher untersuchten Lösungen giebt diese keinen Absorptionsstreifen; sie absorbirt im koncentrirten Zustande das ganze Spektrum, und läßt bei zunehmender Verdünnung zuerst blau zwischen F und G erscheinen. Bei 100 Kubikc. Verdünnung ist nur mehr A bis D absorbirt; bei zunehmender Verdünnung erscheint zuerst gelb, dann orange, endlich roth, und erst bei 500 Kubikc. das äußerste Roth.

Pikrinsäure.

10 Kubikc. einer gesättigten alkoholischen Lösung ließen Roth, Gelb und Grün bis nahe an F deutlich wahrnehmen, bei 30 Kubikc. wurde F sichtbar; von hier an wich die Absorptionsgrenze gegen Blau immer mehr aber sehr langsam zurück, bei 1500 Kubikc. erscheint blau bis gegen G, bei 4000 Kubikc. liegt G frei, bei 7000 Kubikc. liegt die Absorptionsgrenze zwischen G und H, und erst bei der Verdünnung auf 25000 Kubikc. wird das ganze Spektrum frei. Aehnlich verhalten sich andere gelbe Farbstoffe wie: Gummigutt, Gelbholz, Gelbbeeren, Purree, Sumach, Orlean, Quercitron, Kurkuma u. a. m. Unter diesen Farbstoffen hat Kurkuma die größte Absorptionsfähigkeit für blau und violett selbst bei großer Verdünnung. Ueberhaupt scheinen die gelben Lösungen vorzugsweise auf dem blauen und violetten Theil des Spektrums zu wirken.

Bei aufmerksamer Beachtung der Einzelheiten der verschiedenen Absorptionsspektra, sowie bei ihrer Vergleichung unter einander, ergeben sich einige Folgerungen, die von praktischem Werthe sind. Farbstofflösungen, welche bestimmte Theile des Spektrums mit großer Intensität absorbiren, werden mit Erfolg zum Abblenden derselben angewendet werden können; so ist man im Stande mit Anilinblau die D Linie, mit Berlinerblau in Oxalsäure gelöst die Linien A und B oder dieselbe Lage habende helle Spektrallinien, mit Sandelholz den grünen, blauen und violetten Theil, mit Pikrinsäure den violetten und ein Stück des blauen Theiles des Spektrums vollkommen zu decken. — Die Untersuchung der drei angeführten Anilinfarbstoffe lehrt, daß die Lage des Absorptionsstreifens von dem größeren oder geringeren Gehalt an Anilinroth oder Anilinblau abhängig ist, und daß man daher durch den Vergleich der Absorptionsspektra dieser Farbstoffe ermitteln kann, ob einer von diesen Farbstoffen und welcher in einer Farbe vorherscht. Bei dem hohen Preise, welchen diese Farben im Handel haben, und bei der Schwierigkeit, welche das Färben auf einen bestimmten Ton für den Färber hat, dürfte eine solche Untersuchung des Farbebades, da sie überdies leicht und schnell auszuführen ist, sehr anzuempfehen sein. Auch andere im Handel vorkommende Farben und Farbstoffextrakte können auf ihren Gehalt an wirksamer Substanz nach dieser Methode untersucht, und mit bekannt guten Lösungen verglichen werden. — Eine andere Anwendnung, die von keinem geringeren praktischen Werthe ist, kann man von dieser Untersuchungsmethode machen, wenn man verschiedene Lösungen eines und desselben Farbstoffes nach der Ausdehnung ihrer Absorptionsspektra vergleicht, es kann hierdurch der relative Unterschied in der Koncentration der ver-

schiedenen Lösungen erkannt werden; hat man eine Normallösung eines Farbstoffes, d. h. eine von bekannter Stärke, zur Verfügung, so ist sogar eine quantitative Bestimmung des in einer zu untersuchenden Lösung enthaltenen Farbstoffes ausführbar. Man hat aber nur die eine oder die andere Lösung soweit zu verdünnen, und die zugegebene Flüssigkeitsmenge in Rechnung zu bringen, bis beide das ganz gleiche Absorptionsspektrum sowohl in Bezug auf Intensität als auf Ausdehnung geben.

Vor Haerlin haben sich schon Hoppe und Valentin mit dem Studium der Absorptionserscheinungen durch farbige Flüssigkeiten mit großem Erfolge beschäftigt, des letzteren im Vorhergehenden angeführte Schrift enthält als schätzenswerthe Beigabe die möglichst vollständige Literatur über diesen Zweig der Wissenschaft. Valentin untersuchte eine große Anzahl Flüssigkeiten von den verschiedensten Farben, und zog selbst die farblosen Lösungen der Alkaloide dadurch in das Bereich seiner Untersuchungen, indem er durch Zusatz von koncentrirter Schwefelsäure, oder von Schwefelsäure mit sehr wenig Salpetersäure, eine Färbung in denselben hervorrief. Es kann nicht Aufgabe dieser Schrift sein, alle Resultate dieser Untersuchungen anzuführen, wohl aber scheint es von Wichtigkeit, den Beobachtungen, welche Hoppe und Valentin über das Absorptionsspektrum des Blutes gemacht haben, volle Aufmerksamkeit zu schenken, da dieselben einen neuen Weg zeigen, wie Blut in sehr geringer Menge und selbst dann, wenn es sich schon theilweise zersetzt hat, noch leicht nachgewiesen werden kann. Der Arzt wie der Chemiker werden diese Methode der Untersuchung gern in Anwendung bringen, da zu ihrer Ausführung keine chemischen Reagentien erforderlich sind, und sie in Bezug auf Empfindlichkeit den bis jetzt bekannten Methoden nicht nachsteht.

Absorptionsspektrum des Blutes.

Das Blut ist eine äußerst komplicirt zusammengesetzte Flüssigkeit, es enthält verschiedene Stoffe in Lösung, von welchen sich einige, sobald dasselbe aus dem lebenden Körper entfernt wird, nach kurzer Zeit in unlöslicher Form ausscheiden; man nennt dies das Gerinnen des Blutes. In dem Blute kann man unter dem Mikroskope kleine rundliche oder ovale Körperchen erblicken, die den Namen Blutkügelchen führen; sie bestehen aus einer dünnen und farblosen Umhüllung und einem rothen Inhalte, welcher nebst anderen Stoffen, den Farbstoff des Blutes, Hämatin genannt, gelöst enthält. Die Farbe des Blutes ist jedoch nicht immer dieselbe, sie ist bald heller bald dunkler, und scheint nicht von einem größeren oder geringeren Gehalte der Blutkügelchen an Hämatin, sondern von deren Form abhängig zu sein; denn das Blut färbt sich auf Zusatz von Wasser dunkler, auf Zusatz von neutralen Salzlösungen, Zuckerwasser oder anderen indifferenten aber specifisch schwereren Flüssigkeiten lichter. Selbst im lebenden Körper erleidet

das Blut durch den Kreislauf eine Veränderung; dasjenige, welches einen Kreislauf eben vollendet hat, ist dunkelroth und wird venöses Blut, dasjenige hingegen, welches durch den Athmungsproceß mit der Luft gerade in Berührung war, ist hellroth gefärbt, und wird arterielles Blut genannt. Durch Einleiten von Kohlensäure kann das hellrothe Blut dunkel, und durch Behandlung mit Sauerstoff kann das dunkelrothe Blut hellroth gemacht werden. Das arterielle Blut erscheint sowohl in dünnen als in dicken Schichten roth, das venöse hingegen erscheint nur in dicken Schichten roth, in sehr dünnen ist es grün; durch Zusatz geringer Mengen von Kali oder Natron zu dunkelrothem Blute kann dieses Verhalten in erhöhterem Grade sichtbar gemacht werden.

Der Farbstoff des Blutes wirkt eigenthümlich auf das Spektrum, indem er je nach der Verdünnung des zu dem Versuche angewandten Blutes, und je nach der helleren oder dunkleren Färbung desselben, verschiedene Theile des farbigen Spektrums mit größerer oder geringerer Intensität absorbirt. Valentin führte eine Reihe von Versuchen unter Berücksichtigung aller dieser Verhältnisse durch, und bestätigte durch dieselben die Beobachtungen, welche Hoppe schon früher über die spektralen Blutbänder gemacht hatte. Um vorerst zu untersuchen, welchen Unterschied hellrothes und dunkelrothes Blut in ihrer Wirkung auf das Spektrum erkennen lassen, wurde folgender Versuch ausgeführt. Ganz frisches Kalbsblut wurde in zwei Portionen getheilt, in die eine wurde solange Kohlensäure geleitet, bis dasselbe tief dunkel erschien, in die andere Sauerstoff bis es eine hellrothe Farbe angenommen hatte. Um das so behandelte Blut in einer sehr dünnen Schichte beobachten zu können, bediente er sich einer einfachen Vorrichtung, welche auch für andere Flüssigkeiten von geringer Durchsichtigkeit angewendet werden kann. In der Mitte einer erwärmten Glasplatte wurde ein schmaler Streifen Siegellack befestigt, und eine zweite kleine Glasplatte so daraufgelegt, daß sich dieselbe mit der andern in paralleler Stellung befand, ohne diese jedoch zu berühren; hierdurch entstanden zu beiden Seiten des Siegellacksstreifens zwischen den Glasplatten Hohlräume, welche höchstens einen halben Millimeter Dicke hatten; in diese konnte man nun durch vorsichtiges Neigen das auf dem vorstehenden Rand der größeren Platte ausgegossene Blut einfließen lassen. Eine solche dünne Schichte von hellrothem Blute ließ, vor die Spalte des Spektralapparats gebracht, rothes und gelbes Licht von A bis D vollkommen, grünes und blaues jedoch kaum merklich durch; dunkelrothes Blut verhielt sich ganz gleich, nur war das äußerste Roth nicht sichtbar; der Unterschied in der Absorption fiel also auf das rothe Ende des Spektrums.

Anders ist das Verhalten, wenn das Blut verdünnt wird, es treten sodann die andern farbigen Theile des Spektrums ebenfalls deutlich hervor, und können zwei dunkle Streifen im Grünen, der eine nahe bei der Fraunhofer'schen Linie D, der andere gegen E hin, beobachtet werden. Die Breite dieser zwei Absorptionsstreifen wechselt je nach der Verdünnung des Blutes und je nach der Dicke der angewandten Flüssigkeitsschichte; Valentin hat dieselbe gemessen, indem er den Anfang und das Ende der Streifen durch die Entfernung von den zunächst gelegenen Fraunhofer'schen Linien näher bestimmte, und durch ein eigenes Symbol ausdrückte z. B. D $\frac{12}{20}$ E. Der Nenner des zwischen D und E stehenden Bruches drückt die Anzahl gleicher Theile aus, in welche der Raum zwischen diesen zwei

Linien eingetheilt ist, der Zähler bezeichnet, bei dem wievielten Theile von D weg die Absorption beginnt oder endet.

Ganz frisches Kalbsblut wurde durch Einleiten von Kohlensäure möglichst geschwärzt, und soweit mit Wasser verdünnt, daß die Flüssigkeit dem Volumen nach nur $\frac{1}{42}$ Blut enthielt; eine 15 Millimeter dicke Schichte vor den Spalt des Spektralapparates gebracht, zeigte ein feuriges Roth von A bis D, einen schmalen gelben Streifen dicht bei D, ein erstes dunkles Blutband von D bis D $\frac{5}{20}$ E, und ein zweites von D $\frac{12}{20}$ E bis E. Bei Anwendung einer nur 4 Millim. dicken Schichte wurde Roth und Gelb von A bis D $\frac{2}{20}$ E durchgelassen, das erste Blutband hatte die Breite D $\frac{2}{20}$ E bis D $\frac{5}{20}$ E, das zweite D $\frac{12}{20}$ E bis D $\frac{18}{20}$ E. Aus diesen Resultaten ergiebt sich, welchen Einfluß die Dicke der untersuchten Flüssigkeitsschichte auf die Breite der Absorptionsstreifen ausübt; in dünneren Schichten werden sie schmäler, und zwar verliert das erste Blutband an Ausdehnung auf der gegen D, das zweite auf der gegen E gelegenen Seite, während die einander zugekehrten Grenzen keine Aenderung erleiden. Wurde das benutzte Kalbsblut noch weiter verdünnt, so daß es nur mehr $\frac{1}{1848}$ Blut enthielt, was ungefähr $\frac{1}{20}$ Procent entspricht, so hatte es nur noch eine schwache bräunliche Färbung, und ließ bei einer 15 Millim. dicken Schichte alle Farben des Spektrums durch, die zwei dunklen Blutbänder waren jedoch noch immer deutlich sichtbar, nur war die schwarze Färbung matt; das erste erstreckte sich von D $\frac{2}{20}$ E bis D $\frac{4}{20}$ E, das zweite, welches etwas schwächer erschien, von D $\frac{12}{20}$ E bis D $\frac{16}{20}$ E. Bei dem Vergleiche der Ausdehnung dieser Blutbänder mit denen, welche durch eine $\frac{1}{42}$ Blut enthaltende Flüssigkeit hervorgebracht werden, ergiebt sich gleichfalls ein Schmälerwerden im selben Sinne wie durch das Verkürzen der Schichte, und ein beinahe völliges Uebereinstimmen mit jenen Bändern, welche durch eine 4 Millim. dicke Schichte erhalten werden. Eine dickere Schichte kann also bei geringerem Blutgehalte dieselbe Erscheinung hervorbringen, wie eine dünnere bei größerem Blutgehalte, sie gleicht den Mangel an Koncentration bis auf eine gewisse Grenze aus.

Die Versuche, welche mit dem gleichen Kalbsblute ausgeführt wurden, nachdem es durch Einleiten von Sauerstoff hellroth gemacht war, gaben ähnliche Resultate; bei einer Verdünnung auf $\frac{1}{41}$ erschien das Spektrum sowie beim dunkelrothen Blute; das erste dunkle Band reichte von D $\frac{1}{20}$ E bis D $\frac{5}{20}$ E, das zweite von D $\frac{12}{20}$ E bis E $\frac{5}{20}$ b. Bei Verdünnung auf $\frac{1}{1680}$ hatte die Flüssigkeit nur mehr einen Stich in das Gelbe, und ließ nur das erste Blutband von D $\frac{2}{20}$ E bis D $\frac{4}{20}$ E erkennen; bei einer Verdünnung auf $\frac{1}{8400}$ konnte auch dieses nicht mehr gesehen werden. Aus diesen Beobachtungen folgt unmittelbar, daß die Spektralreaktion auf hellrothes Blut weniger empfindlich ist als auf dunkelrothes, daß das zweite Blutband bei hellrothem Blute eine größere Ausdehnung hat, und bei zunehmender Verdünnung früher verschwindet, als bei dunkelrothem, und daß im allgemeinen die dunklen Streifen um so schmäler erscheinen, je verdünnter das Blut ist.

Behandelt man Blut mit Wasserstoff, Schwefeläther, Chloroform, Ammoniak, oder mit geringen Mengen von kohlensauren Alkalien, so wird das Vermögen, die dunklen Absorptionsstreifen zu zeigen, durchaus nicht beeinträchtigt, durch Behandlung mit mineralischen Säuren wie Schwefelsäure, Salzsäure, Salpetersäure, ferners mit ätzenden Alkalien, oder einem

großen Ueberschusse von kohlensauren Alkalien werden dieselben aufgehoben. Eigenthümlich ist die Einwirkung der Essigsäure; in geringer Menge dem Blute zugesetzt, schwächt sie die dunklen Streifen, in größerer Menge angewendet, hebt sie diese gänzlich auf, dagegen erscheint ein breites, schwarzes Absorptionsband im Roth ungefähr bei B. Valentin nennt dieses Spektrum zum Unterschiede von dem früher beschriebenen Häminspektrum. Durch Zusatz von kohlensauren Alkalien bis zur vollständigen Neutralisation der Essigsäure wird das dunkle Band im Roth wieder aufgehoben, ohne daß jedoch die zwei Blutbänder im Grün und Blau wieder erscheinen. Auch umgekehrt läßt sich die Einwirkung der Essigsäure verfolgen, wenn man mit kohlensaurem Natron versetztes Blut mit Essigsäure bis zur sauren Reaktion allmälig übersättigt; solange kohlensaures Natron vorwaltet, sind die zwei dunklen Blutbänder sichtbar, bei geringem Ueberschuß von Essigsäure erblassen dieselben merklich, und gleichzeitig erscheint auch schon das dunkle Band im rothen Theil des Spektrums, bei größerem Ueberschusse verschwinden jene gänzlich, während dieses als tief schwarzes Band sichtbar bleibt. Ist das Blut zu verdünnt, so gelingt die Umwandlung des Blutspektrums in das Häminspektrum nicht, weil letzteres nur durch eine koncentrirte Flüssigkeit hervorgebracht werden kann.

Wie weit man bei diesen Untersuchungen in der Verdünnung des Blutes gehen könne, scheint von verschiedenen Nebenumständen abhängig zu sein, unter besonders günstigen Umständen, zu welchen jedenfalls die Helligkeit des Spektrums zu zählen ist, kann die Verdünnung bis auf $\frac{1}{7000}$ steigen, bis die letzten Spuren der Blutbänder verschwinden. Bei dieser Verdünnung ist die Flüssigkeit im durchfallenden Lichte ganz farblos und nur von der Seite gesehen, läßt sie einen schwachen Stich in das Gelbe erkennen. Wird das Blut der Siedhitze ausgesetzt, so verliert es die Eigenschaft die zwei dunklen Absorptionsstreifen zu zeigen, nicht aber durch das Gefrieren, denn Blut, welches durch eine Stunde einer Temperatur von — 14° C. ausgesetzt war, verhielt sich so wie ganz frisches. Ueberhaupt giebt es nicht viele Einflüsse, welche das Blut für das Absorptionsspektrum untauglich machen. Durch längeres Aufbewahren wird es für diesen Zweck nicht unbrauchbar; ein vier Jahre lang in einer luftdicht verschlossenen Flasche aufbewahrtes defibrinirtes Blut, welches einen sehr üblen Geruch nach dem Oeffnen der Flasche verbreitete, ließ die Blutbänder in ausgezeichneter Weise erkennen. Nur bei weit vorgeschrittener Fäulniß, oder wenn dasselbe längere Zeit einer höheren Temperatur ausgesetzt war, ist es für die Spektralprobe unbrauchbar. Da durch Einwirkung von Säuren oder kaustischen Alkalien die Blutbänder beseitigt werden können, so muß hierauf, wenn sie früher auf das Blut stattgefunden hätte, Rücksicht genommen werden; in einem solchen Falle ist nur die Herstellung des Häminspektrums noch möglich.

Es ist nicht unumgänglich nothwendig, daß das Blut im flüssigen Zustande angewendet werde, ein auf einer Glasplatte eingetrockneter Blutstropfen, wenn er genügend durchscheinend ist, zeigt die Blutbänder mit großer Schärfe, ebenso dünne Blättchen des mit Aether ausgezogenen Menschenblutes. Valentin untersuchte das Blut des Menschen, der Fledermaus, des Hundes, der Katze, des Kaninchens, der Ratte, des Reihers, des Hühnerembryos, der Natter, der Kaulquappe und des vollkommen entwickelten Frosches, und fand stets das ganz gleiche Verhalten. Auch die Galle

verschiedener Thiere kürzere oder längere Zeit nach dem Tode derselben untersucht, liefert ein Absorptionsspektrum, welches dem des Blutes ähnlich ist, es läßt sich jedoch von dem wahren Blutspektrum leicht dadurch unterscheiden, daß es bei geringerer Verdünnung der Galle mit Wasser schon verschwindet, während die Blutbänder selbst bei großer Verdünnung noch sichtbar sind.

Zur Nachweisung des Blutes bediente man sich bisher zweier Methoden; die eine beruht auf dem Erkennen von Blutkügelchen unter dem Mikroskope, die andere auf der Darstellung von Häminkrystallen durch Eisessig. Diesen Methoden schließt sich nun die Spektralprobe an, über deren Werth erst wird entschieden werden können, wenn Sachkundige ihr Urtheil werden abgegeben haben; jedenfalls aber ist dieselbe als eine schätzenswerthe Bereicherung unserer Kenntnisse über die Nachweisung von Blut anzusehen. Um geringe Mengen alten Blutes, namentlich eingetrocknete ältere Blutspuren als solche zu erkennen, ist es nothwendig dieselben in Lösung zu bringen; dies geschieht am besten durch Abkratzen der zu untersuchenden Masse und Behandeln mit Wasser bei einer 40° C. nicht übersteigenden Temperatur, mit der erhaltenen Lösung kann sodann die Prüfung auf die angegebene Weise ausgeführt werden.

Umkehrung der Absorptionsspektra.

Unter den Fortschritten, welche die Wissenschaft durch die Anwendung der Spektralanalyse gemacht hat, müssen auch die Ergebnisse verzeichnet werden, welche in neuester Zeit durch Beobachtung der Absorptionsspektra gefärbter Salzlösungen erhalten wurden. Die gefärbten Salzlösungen, von welchen hier die Rede sein soll, stammen von zwei seltenen schwedischen Mineralien, dem Gadolinit und Cerit her, und enthalten mehrere Metalloxyde, deren vollkommene Trennung bisher nur theilweise gelungen ist. Sie enthalten die Metalle Yttrium, Didym, Lanthan, Cer, Erbium und Terbium, die wirkliche Existenz der zwei letztgenannten Metalle wird in neuester Zeit wieder angezweifelt. Die Lösungen der Yttererde geben ein Absorptionsspektrum, welches aus fünf schwarzen Linien besteht, von welchen eine starke breite im gelben, und eine im grünen Theile des Spektrums besonders charakteristisch sind. Eine koncentrirte Lösung von salpetersaurem Didymoxyd giebt ein Absorptionsspektrum von sieben dunklen Linien, unter denen ebenfalls zwei sehr deutlich sind; die eine liegt bei D an der Grenze zwischen Gelb und Orange, die andere im Blau in der Nähe von G. Auch von den Erbin- und Terbinlösungen sind Spektra bekannt; die Erbinlösungen zeigen in ihrem Absorptionsspektrum fünf dunkle Linien, bei Anwendung von syrupdicken Lösungen sogar acht. Dies wenige vorausgeschickt, sollen nun zwei Versuche angeführt werden, welche sich auf die genannten Substanzen beziehen und die Umkehrung der dunklen Absorptionsstreifen im Didym- und Erbinspektrum in helle Spektrallinien zum Gegenstande haben.

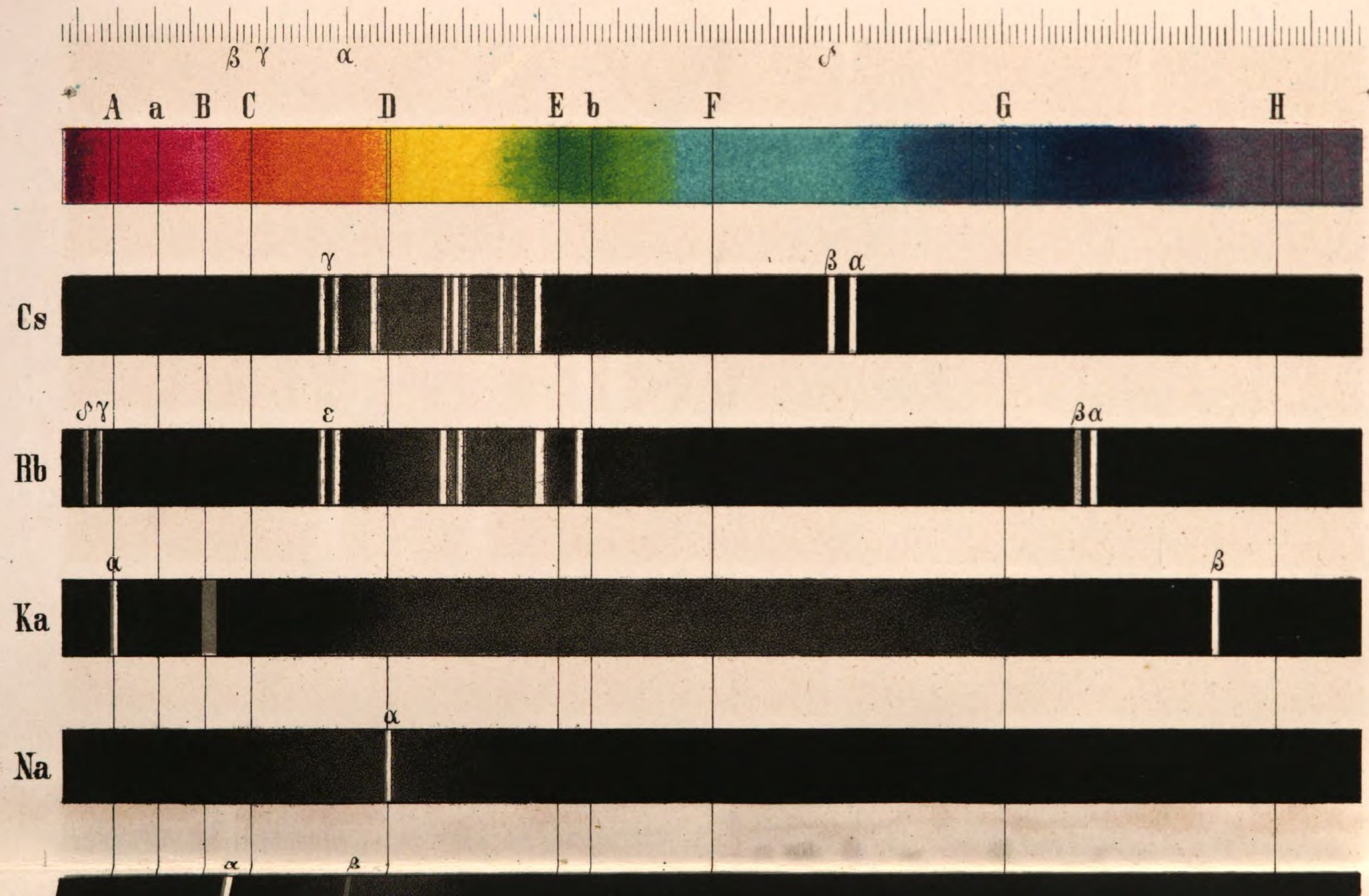
Durch Zusammenschmelzen einer kleinen Quantität Didymoxyd mit phosphorsaurem Natron-Ammoniumoxyd erhielt Bunsen ein blasenfreies, durchsichtiges und amethystfarbiges Glas, welches zwischen den Spalt des Spektralapparates und eine den letzteren beleuchtende Lichtquelle gebracht, das charakteristische Absorptionsspektrum der Didymverbindungen erzeugte. Wählt man als Lichtquelle einen haarfeinen glühenden Platindraht, läßt dessen Licht mittelst einer kleinen Linse auf den Spalt des Spektralapparates fallen, und bringt zwischen diesen und die Lichtquelle das in eine Platinspirale eingeschmolzene Didymglas, so sieht man die stärkeren Absorptionslinien des Didyms, und ganz besonders den neben der Fraunhofer'schen Linie D liegenden Hauptstreifen, mit vollkommener Deutlichkeit. Wird nun das Didymglas durch eine nicht leuchtende Flamme allmälig erhitzt, so sieht man, so lange noch keine Glühhitze eingetreten ist, den Hauptstreifen breiter und dunkler werden, steigert man aber die Temperatur nach und nach bis zur Glühhitze, so nimmt der dunkle Hauptstreifen fortwährend an Schwärze ab, und verschwindet endlich ganz. Entfernt man jetzt den als Lichtquelle dienenden Platindraht, so kommt ein Spektrum des geschmolzenen glühenden Didymglases zum Vorschein, welches genau an der Stelle des dunklen Hauptstreifens einen gleichgestalteten hellen Streifen auf dunklem Grunde erkennen läßt.

Der zweite Versuch von Bahr ausgeführt, betrifft die Umkehrung des Erbinspektrums. Eine kleine Quantität eines Erbinsalzes auf einem Platindraht in die nicht leuchtende Flamme eines Bunsen'schen Gasbrenners gebracht, verwandelt sich in eine schwammige Masse von Erbinerde, die mit intensivem grünlichen Lichte leuchtet. Betrachtet man diese durch einen Spektralapparat, so erblickt man ein kontinuirliches Spektrum, auf welchem helle Linien erscheinen, die mit wenigen Ausnahmen mit den Absorptionsbändern der Erbinlösungen korrespondiren.

Das, was diese zwei Versuche, die aus den in den Annalen der Chemie und Pharmacie (1864 und 1865) enthaltenen Aufsätzen nahezu wörtlich entnommen sind, besonders interessant macht, ist der Umstand, daß durch dieselben der Beleg geliefert wird, daß auch feste und flüssige glühende Körper Spektra mit hellen Linien liefern können.

Werfen wir nun schließlich einen kleinen Rückblick auf die Anwendung, welche die Spektralanalyse gestattet, so finden wir, daß dieselbe nunmehr eine allseitige genannt werden muß; jede Lichtquelle und jeder gefärbte und durchsichtige Körper kann Gegenstand der Untersuchung werden, und sowie die Linienspektra glühender Dämpfe die chemische Natur derselben erkennen lassen, so kann auch durch die dunklen Absorptionsstreifen in vielen Fällen das Gleiche geleistet werden. Durch diese Methode ist eine Bahn geöffnet, die zu den mannichfaltigsten Beobachtungen führen kann, und der Antheil, welchen die wissenschaftliche Welt an diesem Gegenstande bisher genommen, verstärkt durch das vielfache Streben der Spektralanalyse auch in der Praxis Eingang zu verschaffen, läßt zuversichtlich erwarten, daß dieselbe noch zu vielen interessanten Aufschlüssen über die Natur des Lichtes und über die chemischen Bestandtheile vieler Körper führen wird.

Druck von B. F. Voigt in Weimar.


β γ α δ
A a B C D E b F G H
γ β α
Cs
δ γ ε β α
Rb
α β
Ka
α
Na
α β



Li
α
β
Sr
βγ
α
δ
Ca
α
β
Ba
ε
γ
δ η
α
β
Tl
α
In
α
β

Lielegg, Andreas,

Die Spektralanalyse Erklärung der Spektralerscheinungen und deren Anwendung für wissenschaftliche und praktische Zwecke ; mit Berü cksichtigung der zu ihrem Verständnisse wichtigen physikalischen Lehren in leicht faßlicher Weise dargestellt

Weimar 1867